

Грађевински факултет
11/17
29.01.2018.

З А Х Т Е В
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5 тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета”, број 162/11-пречишћен текст, 167/12, 172/13 и 178/14), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

**"РЕДУКЦИЈА НОСИВОСТИ ЧЕЛИЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА УСЛЕД РАЗВОЈА
КОРОЗИЈЕ У АГРЕСИВНИМ СРЕДИНАМА"**

**"REDUCTION OF CARBON STEEL ELEMENTS RESISTANCE DUE TO
PROPAGATION OF CORROSION IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT"**

НАУЧНА ОБЛАСТ: **Грађевинарство**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
ЈЕЛЕНА /Никола/ СТАНКОВИЋ
2. Претходно образовање(назив и седиште факултета,студијски програм)
Грађевинско-архитектонски факултет у Нишу, грађевинарство
3. Година дипломирања
2010
4. Година уписа на докторске студије:
2011
5. Назив студијског програма докторских студија:
Грађевинарство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Zoran Mišković

Звање: vanredni profesor, dr

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Miodrag Malović, Ljiljana Brajović, **Zoran Mišković**, Šekara Tomislav, (2015), *Simultaneity Analysis In A Wireless Sensor Network*, Polish Academy of Science, Metrology and Measurement Systems, vol. 22 No. 2, pp. 275-288, , ISSN 2300-1941 , DOI 10.1515/mms-2015-0022., (M23)
2. Ivan S. Ignjatović, Snežana B. Marinković, **Zoran M. Mišković**, Aleksandar R. Savić, (2012), *Flexural behaviour of reinforced recycled aggregate concrete beams under short-term loading*, RILEM, Materials and Structures, Vol.45, No.-10, (October), pp.1-15, ISSN 1871-6873, DOI 10.1617/s11527-012-9952-9, (M21)
3. Branko Milovanović, **Zoran Mišković**, Zagorka Gospavić, Milivoj Vulić, (2011), *Modelling Behaviour of Bridge Pylon for Test Load using Regression Analysis with Linear and Non-linear process*, Geodetic journal, Croatian geodetic society, Vol.65 (88), No.3 (Sep.2011.), pp.205-220, ISSN0016-710X, UDK 624.21-21:624.042.8:528.482:004.92, (M23)
4. **Miskovic, Z.**, Pavic, A.; Reynolds, P., (2009) *Effects of full-height nonstructural partitions on modal properties of two nominally identical building floors*, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.36, No.7 (July 2009), NRC Research Press, pp. 1121-1132(12), ISSN 1121-1132, DOI 10.1139/L09-055, (M23)
5. Pavić A., **Miskovic Z.**, Reynolds P., (2007) , *Modal Testing and Finite-Element Model Updating of a Lively Open-Plan Composite Building Floor*, (2007), ASCE – Journal of Structural Engineering, Vol.133, No-4 , pp.550-558., ISSN: 0733-9445, DOI10.1061/(ASCE)0733-9445 (2007)133:4(550), (M21)
6. Brajović Lj., **Mišković Z.**, Uskoković P., Živković I., Aleksić R. (2004) *Fatigue damage detection in composite rods using fiber optic intensity based senzors*, Materials Science Forum Edition, pp. 497-504, May 2004, ISBN 0255-5476 ISSN/ISO: Mat.Sci.For., DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.453-454.497, (M23)

Обавештавамо вас да је Наставно–научно веће Факултета на седници одржаној 25.01.2018. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Бранко Божић,
дипл.геод.инж.

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације



ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Булевар краља Александра 73
11001 Београд,
П. факс 35-42
Телефон (011) 321-86-06, 337-01-02
Телефакс (011) 337-02-23
Е пошта dekanat@grf.bg.ac.rs

На основу члана 60. став 1. тачка 23. Статута Грађевинског факултета Универзитета у Београду (пречишћен текст), бр. 9/29-12 од 26.12.2016.год., Наставно - научно веће Грађевинског факултета Универзитета у Београду, на својој седници одржаној дана 25.01.2018. године, донело је

ОДЛУКУ

Прихвата се извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Јелене Станковић, дипл.инж.грађ.**, под предложеним насловом који гласи:

"РЕДУКЦИЈА НОСИВОСТИ ЧЕЛИЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА УСЛЕД РАЗВОЈА КОРОЗИЈЕ У АГРЕСИВНИМ СРЕДИНАМА"

„REDUCTION OF CARBON STEEL ELEMENTS RESISTANCE DUE TO PROPAGATION OF CORROSION IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT"

Предложеној тему докторске дисертације доставити Већу научних области грађевинско – урбанистичких наука Универзитета у Београду на сагласност. За ментора је предложен **др Зоран Мишковић, дипл.грађ.инж., ванредни професор** Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Одлука је донета једногласно.

ДЕКАН ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Бранко Божић, дипл.инж.геод.

Доставити:

- Универзитету
- именованој
- Студентској служби
- архиви

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
GRAĐEVINSKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

PREDMET: Izveštaj komisije za prijem teme doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 397/3 od 26.10.2017. godine imenovani smo za članove Komisije za prijem teme doktorske disertacije Jelene Stanković, dipl. inž.građ., pod naslovom:

**REDUKCIJA NOSIVOSTI ČELIČNIH ELEMENATA USLED RAZVOJA KOROZIJE U
AGRESIVNIM SREDINAMA**

*REDUCTION OF CARBON STEEL ELEMENTS RESISTANCE DUE TO PROPAGATION OF
CORROSION IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT*

Na osnovu materijala priloženog uz molbu kandidata, komisija u sastavu:

1. Dr Zlatko Marković, dipl.građ.,inž. redovni profesor Građevinskog fakulteta u Beogradu
2. Dr Miomir Pavlović, dipl.inž.teh., redovni profesor Tehnološkog fakulteta u Zvorniku, Univerzitet u Istočnom Sarajevu
3. Dr Zoran Mišković, dipl.građ. inž.– mentor, vanredni profesor Građevinskog fakulteta u Beogradu

podnosi Nastavno-naučnom veću Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu sledeći

I Z V E Š T A J

1. BIOGRAFIJA

Opšti podaci

Jelena Stanković, dipl.inž.građ., student doktorskih studija na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, rođena je 04.10.1985. godine u Leskovcu. Osnovnu školu „Desanka Maksimović“ završila je u Grdelici, a potom „Gimnaziju“ u Leskovcu.

Obrazovanje i usavršavanje

Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu upisala je 2004. godine, gde je 2010. godine diplomirala sa prosečnom ocenom 8,65 odbranivši diplomski rad pod naslovom "Betonska konstrukcija višespratnog stambenog objekta" na Katedri za materijale i konstrukcije, sa ocenom 10,0.

Po završetku osnovnih studija upisala se 2011. godine na doktorske studije Građevinskog fakulteta u Beogradu koje i dalje pohađa. Položila je sve ispite predviđene programom doktorskih studija sa prosečnom ocenom 9,75.

Kandidat govori i piše engleski jezik.

Rad i napredovanje u struci

U periodu od februara 2011. do danas radi kao odgovorni projektant-statičar u Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru u sektoru za inženjering i projektovanje. Tokom ovog perioda stekla je praktična iskustva u projektovanju i izvođenju čeličnih i betonskih konstrukcija u industriji, kako u zemlji, tako i u inostranstvu.

Od januara 2012. godine odlukom Naučnog veća Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru, izabrana je u zvanje istraživač saradnik. Od tada radi, osim u matičnom sektoru za inženjering i projektovanje i na projektu ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja TR 37001- Uticaj rudarskog otpada iz RTB-a Bor na zagađenje vodotokova sa predlogom mera i postupaka za smanjenje štetnog dejstva na životnu sredinu.

Član je Inženjerske komore Srbije i poseduje licencu odgovornog projektanta građevinskih konstrukcija objekata visokogradnje, niskogradnje i hidrogradnje.

Naučno istraživački rad

Jelena Stanković je autor i koautor radova koji su objavljeni u časopisima nacionalnog značaja i zbornicima sa nacionalnih i međunarodnih konferencija. Ovi radovi predstavljaju rezultate istraživanja sa projekta, kao i istraživanja u toku doktorskih studija na pripremi ispita i doktorske disertacije.

Učestvovala je na 17. međunarodnoj konferenciji TMT 2013 (Trends in the development of machinery and associated technology) u Istanbulu, Turska, septembra 2013, na 5. internacionalnom naučno-stručnom skupu GNP na Žablaku, Crna Gora, februara 2014, kao i na XIX YuCorr međunarodnoj konferenciji Stecište nauke i prakse u oblasti korozije, zaštite materijala i životne sredine, Tara, 2017.

Takođe, na sednici Katedre za materijale i konstrukcije održanoj 07.09.2017. godine, prezentovala je Pristupni rad – odbrana teme doktorske disertacije pod istim naslovom kao i predložena tema disertacije, koji je prihvaćen od strane katedre.

Trenutno je student doktorskih studija na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Radovi u časopisu međunarodnog značaja verifikovanog posebnom odlukom (M24)

1. Ljubiša Obradović, **Jelena Stanković**, Mile Bugarin, Disposal of hazardous mining waste-the current Serbian and EU legislation, str. 113-124, Mining and Metallurgy Engineering Bor, ISSN 2334-8836, 3/2013, Published by Mining and Metallurgy Institute Bor

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33):

1. **J. Stanković**, Z. Mišković, M. Pavlović, D. Jevtić, Z. Marković, Effect of corrosion propagation in industrial aggressive environment and in salt chamber onto strength of axially tensioned element, Međunarodna konferencija XIX YuCorr, Stecište nauke i prakse u oblastima korozije, zaštite materijala i životne sredine, pp. 128 - 133, 978-86-82343-25-7, Tara, Srbija, 12. - 15. Sep, 2017
2. **J. Stanković**, S. Dimitrijević, S. Filipović, J. Đorđević, Effect of corrosion propagation in industrial aggressive environment onto strength of axially tensioned element, The 49th International October Conference on Mining and Metallurgy, pp. 346 - 349, 978-86-6305-066-2, Bor, Srbija, 18. - 21. Oct, 2017
3. **J. Stanković**, S. Dimitrijević, S. Filipović, J. Đorđević, Uticaj propagacije korozije na aksijalnu nosivost čelika u industrijskim sredinama, Međunarodni simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, pp. 141 - 146, 978-86-87615-08-3, Vršac, Srbija, 18. - 20. Oct, 2017
4. **J. Stanković**, Z. Stevanović, S. Filipović, V. Gardić, R. Marković, S. Dimitrijević: Corrosion of steel in the presence of elemental sulfur and sulfuric acid, Editors: A. Kostov, M. Ljubojev, In proceedings of the 44th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 1st - 3rd October 2012, 791-794, (ISBN 978-86-7827-042-0).

5. S.Filipović, **J.Stanković**, S.Dimitrijević, R.Marković, G.Slavković: Verification of designed parameters of enlarged laboratory plant for electrochemical investigation, Editors: A.Kostov, M.Ljubojev, In proceedingf of the 44th International Octobar Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 1st – 3rd October 2012, 787-790, (ISBN978-86-7827-042-0).
6. S.Filipović, **J.Stanković**, R. Kovačević: The design of the pump station for wastes in order to enlarge the capacity of the mine „Veliki Krivelj“, In proceedingf of the 45th International Octobar Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Bor, Serbia, 16-19 October 2013, 192-195, (ISBN 978-86-6305-012-9).
7. **Jelena N Stanković**, Sandra Filipović, Radmilo Rajković, Ljubiša Obradović, Vladan Marinković, Renata Kovačević: Risk and reliability analysis of slope stability-deterministic and probabilistic method, 17th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2013, Istanbul, Turkey, 10-11 September 2013.
8. **J. Stanković**, S.Filipović, M. Ćosić, V.Varga: „Nonlinear behavior of concrete slab depending on modeling slab-column connection“, Građevinarstvo-nauka i praksa, ISBN 978-86-82707-23-3, COBISS.CG-ID 24170256, februar 2014
9. S.Filipović, **J.Stanković**, I. Milojević, M.Krstić: „Determination of residual stresses by the hole-drilling strain gage method“, Građevinarstvo-nauka i praksa, ISBN 978-86-82707-23-3, COBISS.CG-ID 24170256, februar 2014
10. M.Maneski, M. Ćosić, V. Varga, **J. Stanković**: „Influence of truss geometry on eigenfrequencies value change“, Građevinarstvo-nauka i praksa, ISBN 978-86-82707-23-3, COBISS.CG-ID 24170256, februar 2014
11. M. Ćosić, V. Varga, **J. Stanković**, M. Maneski: „Behavior analysis of truss according theory of plasticity using link elements“, Građevinarstvo-nauka i praksa, ISBN 978-86-82707-23-3, COBISS.CG-ID 24170256, februar 2014
12. V. Varga, M. Ćosić, **J. Stanković**, M. Maneski: „Reconstruction of the machine shop floor in Pančevo oil refinery“, Građevinarstvo-nauka i praksa, ISBN 978-86-82707-23-3, COBISS.CG-ID 24170256, februar 2014
13. S. M. Filipović, **J. N. Stanković**: „Analytical solution for angle-ply plates using first order shear deformation plate theory and navier solution type ss-2“, TMT 2014, Budapest, Hungary 10-12 September, 2014
14. **J. N. Stanković**, S. M. Filipović: „Dinamic response analysis of crusher foundation“, TMT 2014, Budapest, Hungary 10-12 September, 2014

Rad u časopisu nacionalnog značaja (M52)

1. Sandra Filipović, **Jelena Stanković**, Silvana Dimitrijević, Radmila Marković, Gordana Slavković, Projektovanje uvećanog laboratorijskog postrojenja za elektrohemijaska ispitivanja, BAKAR 37 (2012) 1, str. 23-32 (ISSN: 0353-0212 klasifikacioni br. 693.97:66.013: 541.13(045)=861)
2. Branislav Rajković, Zoran Ilić, **Jelena Stanković**, Kompresorska stanica za tehnološki i instrumentalni vazduh za flotacione mašine u rudniku „Lece“, str.64-71, BAKAR 38, broj 2 (2013), UDK: 621.51.622.765(045)=861, ISSN 0351-0212

Rad u naučnom časopisu (M53)

1. **Jelena Stanković**, Sandra Filipović, Jelena Đorđević, Deponovanje opasnog otpada iz rudarstva-aktuelna zakonska regulativa EU i Srbije, Savremeni materijali i konstrukcije sa regulativom, Zbornik radova, ISBN 978-86-87615-07-6, UDK: 628.472.3.045/047. Beograd, Srbija, Jun 2016, str. 123-130
2. Branislav Rajković, Radomir Mijović, **Jelena Stanković**, Rekonstrukcija ventilacione instalacije za otprašivanje postrojenja primarnog drobljenja "Veliki Krivelj", Inovacije i razvoj, broj 1/2012, str.93-102, ISSN 0353-2631, Udc: 62.001.6(088.8)

Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu prethodnog prikaza rezultata dosadašnjeg rada i ostvarenog iskustva kandidata, Jelene Stanković, dipl.inž.građ., Komisija ocenjuje da je kandidat u potpunosti kvalifikovan da može samostalno da radi na predloženoj doktorskoj disertaciji.

2. PRETHODNA ANALIZA INFORMACIJA O PREDMETU ISTRAŽIVANJA

Pod korozijom se podrazumeva postepeno razaranje metala usled interakcije metal-sredina. Ovaj proces u opštem slučaju zavisi od sledećih faktora: od vrste metala, odnosno od sastava i strukture legure, od hemijske prirode sredine, odnosno od procentualnog sadržaja agresivnih supstanci u njoj i od temperature sredine. Za ocenu korozione otpornosti metala najčešće se koriste metode koje se zasnivaju na merenju gubitka mase ili na merenju dubine korozionog razaranja uzoraka koji su bili izloženi delovanju agresivne sredine tokom određenog vremena. Step en korozione otpornosti metala može se vrlo pouzdano utvrditi i ispitivanjem mehaničkih svojstava metala. Postupak se svodi na upoređivanje pojedinih mehaničkih karakteristika dve grupe uzoraka: grupe uzoraka koji su bili izloženi delovanju određenih agresivnih agenasa i grupe uzoraka koji nisu bili izloženi ovom delovanju.

U zavisnosti od mehanizma procesa, korozija metala može da bude hemijska i elektrohemijska. U prvom slučaju radi se o razaranju metala u agresivnim sredinama (neelektrolitima) usled neposrednog sjedinjavanja metala sa izvesnim hemijskim agensima, dok se u drugom slučaju metal razara usled rastvaranja u tečnoj sredini koja ima ulogu elektrolita. Prema karakteru korozione sredine razlikuju se atmosferska, podvodna, zemljišna i druge vrste elektrohemijske korozije.

Pri atmosferskoj koroziji kao elektrolit služi tanka prevlaka vlage, pri čemu se sam proces korozije ni u čemu ne razlikuje od korozije u vodi. Korozija se ubrzava ako se u vazduhu prisutne određene količine nekih gasova, npr. SO_2 i CO_2 ali ako voda, na primer, podzemna voda u sebi sadrži neka jedinjenja koja utiču na brzinu korozionog procesa (sulfati, hloridi i dr.). Pored ovoga, korozija se ubrzava ako je površina metala izložena naizmeničnom kvašenju i sušenju.

Istraživanje korozije u industrijski zagađenim sredinama je jako bitno, pošto je korozija faktor koji utiče na nosivost i trajnost čeličnih konstrukcija, čime izaziva i ogromne troškove na održavanju. Korozioni proces se najbrže razvija u toku zimskih meseci usled povećanja koncentracije zagađivača u vazduhu, kao što su SO_2 , CO_2 , hloridni joni i prašina. Razne kombinacije ovih faktora su tipične za industrijsku sredinu.

Najbitniji klimatski faktori koji utiču na korozioni proces su relativna vlažnost vazduha, broj sunčanih sati, temperatura vazduha i metalne površine, brzina vetra i trajanje i frekvencija kiše, rose i magle. Kondenzacija se smatra važnim uzročnikom korozije metala, naročito u zatvorenim prostorima. Njeno formiranje zavisi od relativne vlažnosti i od promene temperature. Kondenzacija ne pere metalne površine, tako da je koncentracija zagađenja relativno visoka i može biti agresivnija od kiše. Kiša izaziva povećano formiranje tankog sloja vode i korozionih agenasa kao što su H^+ i SO_4^{2-} , ali takođe može oprati kontaminirane površine. Atmosferska korozija metala je značajna kada su zagađivači prisutni u slojevima vode, čime se povećava njena agresivnost. Hloridni joni i SO_2 su najčešći i najbitniji atmosferski korozioni agensi. Standard ISO 9223 se zasniva na određivanju nivoa ova dva kontaminirajuća agensa kako bi se klasifikovala atmosferska korozija.

Na karakter i brzinu korozije, pored navedenih činilaca, utiče i naponsko stanje posmatranog metalnog elementa. Ispitivanja su pokazala da naponi zatezanja posebno imaju velikog uticaja na ubrzanje korozionog procesa. Ovo se objašnjava razaranjem zaštitne prevlake oksida i obrazovanjem mikroprrslina. U takvim slučajevima se govori o naponskoj koroziji. Postoji veći broj korozionih razaranja i to: površinska ravnomerna korozija, površinska neravnomerna korozija, mestimična korozija-plitka, mestimična korozija-duboka, tačkasta korozija, podpovršinska korozija, selektivna korozija,

međukristalna korozija i transkristalna korozija. Mogući su i slučajevi istovremenog delovanja nekoliko vidova korozije, pri čemu je posebno opasna kombinacija u okviru koje je prisutna i naponska korozija. Sva koroziona razaranja utiču na nosivost čeličnih konstrukcija, pa samim tim povećavaju troškove održavanja.

Ispitivanja otpornosti metala prema koroziji izvode se u realnim uslovima eksploatacije ili na atmosferskim korozionim stanicama. To su posebno odabrana mesta, najčešće sa industrijskom atmosferom, gde se vrši izlaganje uzoraka i praćenje nastalih promena na njima, usled korozije. Na atmosferskim korozionim stanicama se vrše ne samo ispitivanja otpornosti metala, legura i njihovih zavarenih spojeva prema opštoj koroziji, već i ispitivanja drugih vidova korozije (piting, selektivna korozija, naponska korozija itd.). Ispitivanja na korozionim stanicama su dugotrajna, pa se često primenjuju ubrzana laboratorijska ispitivanja, tokom kojih dolazi do korozionih razaranja za relativno kratko vreme. Ubrzanje korozionih procesa se postiže dejstvom agresivnih komponenata, nametanjem određenog elektrodnog potencijala, povećanjem temperature i stepena vlažnosti itd. Rezultate ubrzanih laboratorijskih ispitivanja neophodno je uporediti sa podacima dobijenim tokom eksploatacije, kako bi se dobila odgovarajuća korelacija sa korozionim ponašanjem u realnim uslovima.

Upoređivanjem eksperimentalnih rezultata (u laboratoriji i na terenu, u industrijskim pogonima) i rezultata dobijenih modeliranjem procesa korozije implementiranjem konstitutivnog modela u analizu konačnih elemenata, ocenjuju se realne mogućnosti modela u pretpostavci nastanka i progresije korozije. Time se zahtevni i dugotrajni eksperimenti mogu eliminisati.

Relevantni izvori za predloženo istraživanje, a koji će direktno i indirektno biti razmatrani, su:

1. ABAQUS 6.12, Abaqus/CAE User's Manual, Dassault Systèmes, 2012
2. M. Pavlović, D. Stanojević, S. Mladenović, Korozija i zaštita materijala, 1. Izd, Tehnološki fakultet Zvornik, 2012
3. Gurson A.L., 1977, Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: Part I – Yield criteria and flow rules for porous ductile media, Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME, 99, 1, 2-15
4. Viggo Tvergaard, On localization in ductile materials containing spherical voids, International Journal of Fracture, Vol. 18, No. 4, April 1982, pp. 237-252
5. V. Tvergaard, A. Needleman, Analysis of the cup-cone fracture in the round tensile bar, Acta metall, Vol. 32, No. 1, 1984, pp. 157-169
6. Z. L. Zhang, C. Thaulow, J. Odegard, A complete Gurson model approach for ductile fracture, Engineering Fracture Mechanics 67 (2000), pp. 155-168, March 2000, Trondheim, Norway
7. M. O. Ouali, M. Almansba, N. E. Hannachi, Numerical and experimental study of ductile fracture of an aluminium alloy during forging process, CMM 2011, Computer Methods in Mechanics, 9-12 May 2011, Warsaw, Poland
8. Wiktor Wcislik, Experimental determination of critical void volume fraction f_F for the Gurson Tvetgaard Needleman (GTN) model, 21st European Conference on Fracture, ECF21, 20-24 June 2016, Catania, Italy
9. Wiktor Wcislik, Numerical determination of critical void nucleation strain in the Gurson Tvetgaard Needleman porous material model for low stress state triaxiality ratio, Metal 2014, 21-23 May 2014, Brno, Czech Republic
10. Pawel Kossakowski, Wieslaw Trampczynski, Microvoids Evolution in S235JR Steel Subjected to Multi-Axial Stress State, Engineering transactions, 60, 4, 287–314, Polish Academy of Sciences, Institute of Fundamental Technological Research (IPPT PAN), National Engineering School of Metz (ENIM) 2012
11. Pawel Kossakowski, Effect of initial porosity on material response under multi-axial stress state for S235JR steel, Archives of civil engineering, LVIII, 4, 2012,

12. Kucharski, J. Badur, P. Ostrowski, M. Banaszkiewicz, Stress corrosion modeling in steam turbine blades, Technical, Economic and Environmental Aspects of Combined Cycle Power Plants, Gdansk TU Press, 2004, pp.145-153
13. Larbi Siad, Sophie Gangloff, A GTN-like model for plastic porous materials, Engineering, Technology and Applied Science Research, Vol. 4, No. 6, 2014, pp. 734-738
14. Abdolvahed Kami, B. Mollaei dariani, A. S. Vanini, D. Comsa, D. Banabic, Application of a GTN damage model to predict the fracture of metallic sheets subjected to deep-drawing, Proceedings of the Romanian Academy, Series A, Volume 15, Number 3/2014, pp. 300-309
15. Yidong Xu, Chunxiang Qian, Application of Gurson-Tvergaard-Needleman constitutive model to the tensile behavior of reinforcing bars with corrosion pits, PLoS ONE, January 2013, Volume 8, Issue 1, pp. 1-7.
16. Joseph Fansi, Prediction of DP steel fracture by FEM simulations using an advanced Gurson model, phd thesis, July, 2013, Belgique
17. Mendoza, F. Corvo, Outdoor and indoor atmospheric corrosion of carbon steel, Corrosion Science 41 (1999) 75-86
18. J. Wiersma, K. H. Subramanian, Corrosion testing of Carbon Steel in Acid Cleaning Solutions, U.S. Department of Energy, Report WSRC, September 2002, Savannah River Site
19. J. H. Wang, F. I. Wei, Y. S. Chang, H.C. Shih, The corrosion mechanisms of carbon steel and weathering steel in SO₂ polluted atmospheres, Materials Chemistry and Physics 47 (1997), pp. 1-8
20. S. P. Parekh, A. V. Pandya, H. K. Kadiya, Preogressive atmospheric corrosion study of metals like mild steel, zinc and aluminium in urban station of Ahmedabad district, International Journal of ChemTech Research, CODEN (USA), Vol. 4, No. 4, Oct-Dec 2012, pp. 1700-1774
21. Standard ISO 9226
22. Standard ISO 9225
23. Mainier, F.B., de Almeida, P.C.F., Nani, B., Fernandes, L.H. and dos Reis, M.F. (2015) Corrosion Caused by Sulfur Dioxide in Reinforced Concrete, *Open Journal of Civil Engineering*, 5, 379-389, <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2015.54038>
24. R. A. Antunes, R. U. Ichikawa, L.G. Martinez, I. Costa, Characterization of corrosion products on carbon steel exposed to natural weathering and to accelerated corrosion tests, International Journal of Corrosion, Volume 2014, Article ID 419570, 9 pages
25. E. Kusmierek, E. Chrzescijanska, Atmospheric corrosion of metals in industrial city environment, Data in Brief 3 (2015), pp. 149-154
26. M. Morcillo, B. Chico, I. Diaz, H. Cano, D. De la Fuente, Atmospheric corrosion data of weathering steels, National Centre for Metallurgical Research (CENIM-CSIC), Avda. Gregorio del Amo, 8, 28040 Madrid, Spain
27. Florian Sutter, Johannes Wette, Arantxa Fernandez (Ciemat), Life time analysis & accelerated aging tests, SFERA Summer School 16.5.2013
28. C. P. Okonkwo, R. A. Shakoar, A. M. A. Mohamed, Environmental factors affecting corrosion of pipeline steel, International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, Vol. 5, Issue 5, Oct 2015, pp. 57-70
29. S. Syed, Atmospheric corrosion of materials, Emirates Journal for Engineering Research, 11 (1), 2006, pp. 1-24
30. W. Pongsaksawad, E. Viyanit, S. Sorachot, T. Shinohara, Corrosion Assessment of Carbon Steel in Thailand by Atmospheric Corrosion Monitoring (ACM) Sensors, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol. 20, No. 2, 2010, pp. 23-27
31. C. Liang, G. Gao and B. Wu, A study on the 65-35 brass corrosion inhibitor, Materials and Corrosion 2012, 63, No. 4, pp. 350-354

3. PROBLEM I PREDMET ISTRAŽIVANJA

Shodno sprovedenoj analizi stanja u oblasti, a na osnovu podataka koji se mogu naći u literaturi, kandidat je korektno apostrofirao ključne elemente i postupke u procesu analize redukcije nosivosti čeličnih elemenata usled razvoja korozije u agresivnim sredinama koji ukazuju na naučnu opravdanost.

Predmet istraživanja su fizičko-mehanička svojstva konstrukcionog čelika usled propagacije korozije izazvane prisustvom korozivnih agenasa u industrijskoj sredini RTB-a Bor. U skadu sa preporukama autora, koji su se bavili ispitivanjem atmosferske korozije, ispitivanje se vrši na terenu, u odabranim atmosferskim korozionim stanicama, u blizini fabrike sumporne kiseline, u pogonu elektrolitične rafinacije (elektrolize) i pored stanice automatskog monitoringa kvaliteta vazduha u Boru. Takođe, određeni broj uzoraka, čeličnih epruveta, biće ispitivan u komorama za ubrzano starenje i potapanjem u elektrolite. Svi uzorci će biti upoređeni sa etalonskim uzorcima koji su čuvani u laboratorijskim uslovima. Za ocenu korozione otpornosti metala koristiće se metode koje se zasnivaju na merenju gubitka mase i na merenju dubine korozionog razaranja uzoraka koji su bili izloženi delovanju agresivne sredine tokom određenog vremena.

Ispitivanja su izvedena na čeličnim epruvetama, čije su dimenzije usvojene na osnovu standarda EN 10002-1. Materijal koji se koristi je komercijalni čelik S235. Njegove mehaničke karakteristike su dobijene ispitivanjem zatezanja. Hemijski sastav je ispitan na etalonu dimenzije 30x40x8mm, optičkom emisionom spektrometrijom.

Poželjno je da se ispitivanja otpornosti prema koroziji izvode u realnim uslovima eksploatacije ili na atmosferskim korozionim stanicama. To su posebno odabrana mesta, najčešće sa industrijskom atmosferom, gde se vrši izlaganje uzoraka i praćenje nastalih promena na njima, usled korozije. Rezultate ubrzanih laboratorijskih ispitivanja neophodno je uporediti sa podacima dobijenim tokom eksploatacije, kako bi se dobila odgovarajuća korelacija sa korozionim ponašanjem u realnim uslovima. U komorama za koroziona ispitivanja se ubrzanje korozionog procesa vrši povećanjem temperature i relativne vlažnosti vazduha, uz uvođenje agresivnih komponenata u atmosferu komore. Najvažnija su ispitivanja u vlažnoj komori, u komori sa SO₂ i u slanoj komori (NSS, ASS i CASS metoda). U ovom eksperimentu vršeno je ispitivanje u slanoj komori prema standardu ISO 9227, sa neutralnim sprejem (NSS test) u trajanju od 120h i 240h.

Ispitivanja kontinualnim potapanjem uzoraka su takođe predviđeni u toku eksperimentalnog dela. Kao koroziona sredina korišćeni su rastvori elektrolita iz Elektrolize, čiji će hemijski sastav biti predhodno ispitan. Prilikom ovih ispitivanja ubrzanje korozionog procesa se ostvaruje kontinualnim potapanjem uzoraka u rastvore određenog sastava, na određenoj temperaturi.

Na svim izabranim mestima, slanoj komori ili laboratoriji postavljena su po dva seta uzoraka, ukupno 42 uzorka. Jedan set čine 3 uzorka različitih debljina, od 4, 6 i 8 mm.. Svi navedeni uzorci su predhodno mereni, izlagani odgovarajućim agresivnim sredinama i ponovo mereni. Uzorcima iz slane komore je merena i promena debljine, pre i posle izlaganja rastvoru u slanoj komori, ultrazvučno, uz pomoć aparata Proceq Zonotip. Mehaničke karakteristike su dobijene ispitivanjem zatezanjem na kidalici sa hidrauličkim pogonom „Servo-hydraulic Universal Testing Machine Instron 1332 with FastTrack 8800 control system“. Takođe, vršeno je snimanje površine loma na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM) JEOL JSM IT-300LV, na predhodno pripremljenim epruvetama. Izabran je po jedan set sa svakog značajnog položaja: iz svake komore (sa 120h i 240h), iz elektrolita, fabrike sumporne kiseline, sa mernog mesta kvaliteta vazduha i sa epruveta čuvanih u laboratorijskim uslovima. Snimak je pravljn na sredini uzorka, po jedna slika iznad i ispod i to sa uvećanjem od 1000, 1500 i 2000 puta. Kao najrelevantnije izabrano je uvećanje od 1000 puta. Na osnovu dostupnih podataka iz literature, procenat šupljina, snimljenih preko SEM-a, dobijen je preko “grayscale” analize i odgovara podacima koji su dobijali ostali autori, koji su na ovaj način određivali kritičnu zapreminu šupljine do loma.

Na kraju, urađena je i XRD analiza (X-Ray diffraction) korozivnih ljuski, dobijenih skidanjem sa uzoraka nakon šestomesečnog izlaganja. Uzorci su transportovani u laboratoriju i u roku od 24 časa su skinuti produkti korozije. Naslage sa površine uzorkovane su struganjem naslaga sterilisanom lopaticom. Uzorkovanje je izvršeno na tri pozicije: iz fabrike sumporne kiseline, iz elektrolize i pored stanice automatskog monitoringa kvaliteta vazduha ispred Instituta.

Jedna od glavnih tema rendgenske difrakcije je kvalitativna i kvantitativna fazna analiza čistih supstanci i smeša. Rendgenska difrakcija praškastih uzoraka se koristi u širokom opsegu istraživanja i u procesima kontrole sredine. Cilj ove analize je poboljšanje kontrole procesa korozije da bi se smanjio njen uticaj na degradaciju materijala. Utvrđeno je da u zavisnosti od sastava vazduha, korozivne ljuske predstavljaju različita jedinjenja gvožđa.

Problem istraživanja takođe je izbor odgovarajućeg pristupa pri modeliranju korozije, koji bi opisao proces nastanka i degradacije materijala i na kraju lom. Duktilni lom metala se danas povezuje sa 3 fizička mehanizma: nastanak šupljine, rast šupljine izazvan spoljašnjim faktorima i konačno, srastanje susednih šupljina. Nekoliko pristupa se koristi da bi se modelovao ovaj fenomen, koji se uglavnom zasniva na modelovanju progresivne degradacije ili oštećenja materijala.

Oštećenje materijala, odnosno proces iniciranja i propagacije prslina polikristalne strukture su blisko povezani sa mikrostrukturom materijala. Nekoliko osnovnih tipova mehanizma loma kao što su plastičnost, "cepanje", krti intergranularni, transverzalni i duktilni, su posmatrani i analizirani. Za duktilni i transverzalni lom, rast i razvoj prslina je povezan sa nastankom, rastom i povezivanjem mikrostrukturnih defekata u formi šupljina. Šupljine se formiraju u matrici materijala i na postojećim nemetalnim inkluzijama i sekundarnim česticama. Oštećenja nastaju usled rasta i spajanja šupljina dovodeći do razvoja lokalnih plastičnih deformacija.

Razvoj mikro-defekata (šupljina) je jedan od značajnijih faza tokom procesa duktilnog loma. Ovaj kompleksni fenomen zavisi od mnogih procesa, kao što je anizotropija šupljina, razmak i oblik, nastanak šupljina, promena i razvoj oblika šupljina, interakcija između šupljina i razvoj i rast sekundarnih šupljina. Razvoj šupljina izaziva lokalizaciju nastanka mikro-prslina, vodeći do formiranja zone loma i konačno loma materijala. U mnogim slučajevima, lokalno oštećenje strukture elementa nastaje usled razvoja i rasta mikro-defekata, koje u ekstremnim slučajevima mogu dovesti do totalnog loma strukture. Opisani fenomen i njegova veza sa duktilnim lomom metala, može biti analizirana uz pomoć modela oštećenja koji uzimaju u obzir uticaj mikrostrukturnih defekata na naprezanje materijala, definišući vezu između pojedinačnih faza loma i nosivosti materijala.

GTN (Gurson-Tveergaard-Needleman) model je korišćen u analizi za opisivanje plastičnog ponašanja poroznog metala, implementiran je u analizi konačnih elemenata uz pomoć podrutine UMAT. Analiza konačnih elemenata je izvedena uz pomoć softvera ABAQUS. Uzorak je modelovan u ABAQUS CAE pre-procesoru. GTN metod se široko primenjuje u raznim oblastima. On je osnovni model oštećenja koji se preporučuje za upotrebu u hitnim slučajevima analize konstrukcija u Poljskom eurokodu.

Numerička simulacija se sprovodi upotrebom tzv. "best fit" GTN parametra materijala za elemente sa određenim geometrijskim i mehaničkim karakteristikama. GTN parametri se najčešće određuju na osnovu "poklapanja" krivih, bez uzimanja u obzir drugih parametara. Posledično, nedostatak standardizovanih mikrostrukturnih parametara za razvoj GTN modela za čelične konstrukcije u građevinarstvu je najveća mana. Veliki broj istraživanja u ovoj oblasti je usmeren na određivanje procedure koje omogućava numeričku analizu nosivosti čeličnih konstrukcionih elemenata u stanjima pre loma, uzimajući u obzir uticaj mikrooštećenja, koristeći modifikovani GTN model. Testiran je čelik S235 koji je i najčešće primenjivani čelik u građevinarstvu, tako da se dobijeni rezultati mogu koristiti u analizi i proceni kapaciteta nosivosti čeličnih elemenata i konstrukcija. U prvoj fazi, istraživanja su fokusirana na određivanje metodologije numeričkih proračuna, a u drugoj fazi uključuju unapred određene GTN parametre u analizu S235 čelika. Nasuprot "best fit" tehnici, nalazi se metoda

određivanja parametara eksperimentalno, na osnovu stvarnih mikrostruktura u materijalu i mehaničkih karakteristika. GTN parametri, kao što su inicijalna zapremina šupljina i Tvergaard-ovi parametri, određeni su eksperimentalno, na osnovu stvarnih karakteristika mikrostrukture i naprezanja S235 čelika, kao i na osnovu predhodno izvedenih studija.

Nakon završetka proračuna biće dobijeni dijagram napon-dilatacija, kao i odgovarajući napon na granici tečenja i napon pri lomu korodiranih i nekorodiranih epruveta. Upoređivanjem rezultata dobijenih ovim modelom i eksperimentalnih rezultata biće ocenjene realne mogućnosti modela u predviđanju nastanka i progresije korozije, koja utiče na redukciju nosivosti čeličnih elemenata.

Istraživanja unapređenja svih nabrojanih problema su vrlo aktuelna u naučnoj javnosti, što potvrđuje veliki broj radova koji se objavljuju iz ove oblasti.

4. CILJ ISTRAŽIVANJA

Rad na ovoj temi ima sledeće ciljeve:

- definisanje osnovnih principa i postupaka ispitivanja opšte korozije u realnim uslovima eksploatacije i u laboratorijski simuliranim uslovima na čeličnim epruvetama
- određivanje korozione otpornosti metala na osnovu merenja gubitka mase i dubine korozionog razaranja uzorka nakon određenog vremena
- definisanje predloga konstitutivnog modela koji bi opisao tenziono ponašanje korodiranih elemenata;
- uporednu ocenu rezultata dobijenih numeričkim predviđanjima konstitutivnim modelima i eksperimentalnim merenjima.

5. ZADACI ISTRAŽIVANJA

Zadaci istraživanja tokom izrade doktorske disertacije proističu iz postavljenih ciljeva:

- prikupljanje, sistematizacija i kritička analiza predhodnih istraživanja u oblasti korozije metala i njegovih legura u industrijski agresivnim sredinama;
- prikupljanje, sistematizacija i kritička analiza predhodnih istraživanja u oblasti ponašanja korodiranih metalnih elemenata izloženih aksijalnom zatezanju;
- definisanje problema;
- priprema eksperimenta - izrada plana i programa sopstvenog eksperimentalnog istraživanja;
- eksperimentalno ispitivanje hemijskih i fizičko-mehaničkih karakteristika čeličnih epruveta, predhodno izloženih atmosferskoj koroziji na različitim lokalitetima i inhibitorima korozije, kao i simuliranje korozije u laboratorijskim uslovima;
- eksperimentalno ispitivanje ponašanja čeličnih epruveta na aksijalno zatezanje, mereno do loma;
- statistička obrada sopstvenih eksperimentalnih rezultata i rezultata iz literature;
- prikupljanje podataka merenjem gubitka mase i njihova implementacija u konstitutivni model;
- uporedna ocena rezultata merenja gubitka mase uzoraka izloženih atmosferskoj koroziji i uzoraka koji su korodirali u simuliranim uslovima;
- ocena mogućnosti primene konstitutivnih modela koji opisuju ponašanje materijala pod dejstvom korozije;
- izvođenje zaključka i preporuka.

6. RADNE HIPOTEZE

U predloženom istraživanju usvajaju se sledeće radne hipoteze:

- U tačno dirigovanim laboratorijskim uslovima, može se, sa većom ili manjom tačnošću, simulirati atmosferska korozija industrijskih sredina, čime se eksperimentalni proces pojednostavljuje i ubrzava;
- S obzirom na dosadašnja istraživanja, primarno će se primenjivati GTN model za numeričke simulacije između ostalih modela, zbog vrlo dobre saglasnosti tako dobijenih numeričkih rezultata sa odgovarajućim eksperimentalnim
- Na osnovu podataka o gubitku mase i snimka loma, mogu se odrediti parametri GTN modela
- Eksperimentalni i usvojeni parametri materijala GTN modela opisuju oslabljenje (softening) materijala usled rasta šupljina

Hipoteze se u tezi dokazuju.

7. NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Naučne metode koje će se primeniti u predloženom istraživanju su:

- kritička analiza i sinteza postojećih rezultata iz ove oblasti;
- eksperimentalno ispitivanje;
- sistematizacija, kritička analiza i statistička obrada podataka;
- komparativna metoda u analizi ponašanja čeličnih epruveta numeričkim predviđanjem i eksperimentalnim merenjem;

8. GENERALNA STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

Preliminarna struktura disertacije, predložena je od strane kandidata, definisana je sa sledećim naslovima poglavlja:

1. Uvod – opis problema
2. Pregled i analiza rezultata dosadašnjih istraživanja
3. Program sopstvenih eksperimentalnih istraživanja
4. Prikaz i obrada rezultata sopstvenih eksperimentalnih istraživanja
5. Analiza teorijskih i eksperimentalnih rezultata
6. Predlog proračunskog modela
7. Zaključak i preporuke za dalje istraživanje
8. Bibliografija i prilozi

9. NAUČNA OPRAVDANOST, OČEKIVANI REZULTATI I PRAKTIČNA PRIMENA

Ispitivanja koja će biti sprovedena imaju poseban značaj u analizi mogućnosti primene konstitutivnog modela u predviđanju degradacije usled korozije i na kraju, duktilnog loma čeličnih elemenata konstrukcije.

Dobijeni rezultati i podaci iz ovog rada treba da daju doprinos u sagledavanju i proučavanju problema nosivosti i trajnosti korozijom oslabljenih čeličnih konstrukcija u industriskim sredinama, gde postoje mnogobrojni inhibitori atmosferske korozije. Pre svega, potrebno je u realnim uslovima eksploatacije proveriti laboratorijske ubrzane metode korozije, čime bi se smanjilo vreme potrebno za izvođenje eksperimenata.

Na osnovu tih rezultata predložiće se proračunski modeli za graničnu nosivost aksijalno zategnutih elemenata izloženih uticaju korozije u industrijski agresivnim sredinama. GTN konstitutivni model može opisati uticaj šupljina na plastične karakteristike metala. Zbog toga se može uvesti u analizu konačnih elemenata kako bi opisao tenziono ponašanje korodiranih elemenata.

10. PREDLOG PLANA ISTRAŽIVANJA

Generalni plan istraživanja može se prikazati u sledećim koracima:

- prikupljanje podataka o postojećim istraživanjima;
- teorijska analiza problema;
- eksperimentalno istraživanje;
- sistematizacija i interpretacija dobijenih eksperimentalnih rezultata;
- predlog proračunskog modela;
- analiza rezultata eksperimentalno-numeričkih istraživanja
- izvođenje zaključka i preporuka.

Oprema i materijali potrebni za realizovanje istraživanja se sastoje od:

- konstruktivnog čelika S235, debljine 4, 6 i 8mm;
- oprema i aparatura laboratorije Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru i laboratorije za materijale Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu
- računara i softvera za analizu i obradu rezultata.

Finansijska sredstva za realizaciju istraživanja biće obezbeđena iz sledećih izvora:

- iz sredstava Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru ,
- iz sopstvenih fondova.

11. MATIČNOST PREDLOŽENE TEME

Predložena tema pripada naučnom polju tehničko-tehnoloških nauka. Naučna oblast je Građevinsko inženjerstvo, za koju je matičan Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu. Uža naučna oblast, Prema statutu Građevinskog fakulteta, istraživanje pripada užim naučnim oblastima: Građevinski materijali, tehnologija betona i ispitivanje konstrukcija i Metalne konstrukcije.

12. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Predložena tema doktorske disertacije spada u vrlo aktuelne teme iz oblasti kompleksnog istraživanja stanja građevinskih konstrukcija u cilju procene redukcije nosivosti značajnih čeličnih konstrukcija.

Planom istraživanja, u okviru disertacije, predviđena je kritička analiza svih relevantnih segmenata koji su sastavni deo detekcije redukcije nosivosti usled korozije u agresivnim sredinama, uz eksperimentalnu verifikaciju, što daje posebnu težinu istraživanju.

Na osnovu predložene metodologije, kompleksnosti i savremenosti metoda koje će se primenjivati, kao i veliki praktični značaj koji se očekuje, smatra se da je predloženo istraživanje adekvatno za izradu originalnog naučnog rada.

Za mentora doktorske disertacije predlažemo v.prof. dr Zoran Mišković, dipl.građ.inž.

Na osnovu svega navedenog, predlažemo Nastavno-naučnom veću Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati temu disertacije pod naslovom na srpskom i engleskom jeziku:

REDUKCIJA NOSIVOSTI ČELIČNIH ELEMENATA USLED RAZVOJA KOROZIJE U AGRESIVNIM SREDINAMA

REDUCTION OF CARBON STEEL ELEMENTS RESISTANCE DUE TO PROPAGATION OF CORROSION IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

i odobri kolegici Jeleni Stanković, dipl.građ.inž., njenu izradu.

U Beogradu,
17.02.2018. godine

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Zlatko Marković, dipl. građ.inž., redovni profesor
Građevinskog fakulteta u Beogradu

Dr Miomir Pavlović, dipl. inž.teh., redovni profesor
Tehnološkog fakulteta u Zvorniku, Univerzitet u Istočnom
Sarajevu

Dr Zoran Mišković, dipl.građ.inž., vanredni profesor
Građevinskog fakulteta u Beogradu