

Универзитет у Београду  
Технички факултет у Бору

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Војке Гардић,  
дипл. инж. технологије

Одлуком Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, бр. VI/4-18-9 од 28.03.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Војке Гардић, под називом: „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“. Након прегледа достављене дисертације, пратећег материјала, као и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Војка Гардић, дипл. инж. технологије уписала је докторске академске студије на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, школске 2014/2015. године. Хронологија одобравања и израде докторске дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“ одвијала се следећом динамиком:

- 11.04.2019. године кандидаткиња Војка Гардић је након стицања свих неопходних услова предала захтев за формирање Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације Катедри за хемију и хемијску технологију Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду (бр. VI/1-10-80).

- 13.02.2020. године одржана је седница Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, на којој је, по одлуци бр. VI/4-5-11, именована Комисија за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације кандидаткиње Војке Гардић, дипл. инж. технологије у саставу: др Милан Антонијевић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору, др Снежана Милић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору и др Миомир Павловић, научни саветник, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију у Београду.
- 22.05.2020. године Наставно-научно веће Техничког факултета у Бору на својој седници прихвата извештај Комисије за оцену подобности теме, кандидата и ментора, и доноси одлуку бр. VI/4-8-4, којом се прихвата тема докторске дисертације под називом „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама” кандидаткиње Војке Гардић, и за ментора именује др Милана Антонијевића, редовног професора Универзитета у Београду, Техничког факултета у Бору.
- 15.06.2020. године Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је одлуку, бр. 61206-1533/1-20, о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидаткиње Војке Гардић, под називом: „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама” и одређивању др Милана Антонијевића, редовног професора Универзитета у Београду - Техничког факултета у Бору за ментора.
- 28.03.2024. године одлуком број VI/4-18-9 Наставно-научног већа Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, именована је Комисија за оцену урађене докторске дисертације кандидаткиње Војке Гардић, у саставу: др Снежана Милић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору, председник комисије, др Милан Радовановић, редовни професор, Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору, члан комисије и др Ђенђи Ваштаг, редовни професор, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет у Новом Саду, члан комисије.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама” по предмету истраживања припада научној области Технолошко инжењерство, као и ужој научној области Хемија, хемијска технологија и хемијско инжењерство, за које је Технички факултет у Бору - Универзитета у Београду акредитован.

За ментора докторске дисертације именован је др Милан Антонијевић, редовни професор у пензији, Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду. Досадашње

вишегодишње искуство и објављени радови др Милана Антонијевића, ред. проф. (91 рад у часописима са SCI листе; h-index = 32) указују на његову компетентност у поступку руковођења изразом докторске дисертације кандидаткиње Војке Гардић.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидаткиња Војка Гардић, рођена је 03.11.1971. године у Неготину, где је завршила основну и средњу школу. Технички факултет у Бору, Универзитета у Београду, одсек неорганска хемијска технологија, уписала је 1990. године, а дипломирала 1996. године са просечном оценом 8,03.

У Институту за бакар у Бору (данас: Институт за рударство и металургију у Бору), у заводу за металургију и технологију, 2000. године заснива радни однос као приправник. У Институту за рударство и металургију ради двадесет четири године и то: на пословима истраживања, развоја и примене нових технологија у процесима за испитивање отпада и угља, на пословима истраживања, развоја процеса третмана чврстих и течних отпадних материјала и отпадних вода, на пословима пројектовања у области неорганске технологије, као и на пословима из домена заштите животне средине. Од 2015-те године до данас, у Институту за рударство и металургију, налази се на функцији главног инжењера Одељења за испитивање квалитета угљева и Одељења за управљање отпадом.

Школске 2014/2015. године, кандидаткиња Војка Гардић је уписана на докторске академске студије на Техничком факултету у Бору, Универзитета у Београду, на студијском програму Технолошко инжењерство. Током студија положила је испите из следећих предмета (са оценама):

1. Наука о материјалима: 10 (десет);
2. Одабрана поглавља хемијске кинетике: 10 (десет);
3. Електрохемијска технологија: 10 (десет);
4. Заштита животне средине: 10 (десет);
5. Третман чврстог отпада: 9 (девет);
6. Докторска дисертација - дефинисање теме: 10 (десет);
7. Докторска дисертација - СИР 1: 10 (десет);
8. Докторска дисертација - СИР 2: 10 (десет);
9. Докторска дисертација - СИР 3: 10 (десет).

Кандидаткиња Војка Гардић, има положен стручни испит из области пројектовања технолошких процеса (март 2004. године) и лиценцу за одговорног пројектанта технолошких процеса - бр. лиценце: 371 Ц786 06.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Војке Гардић, под насловом „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама”, написана је у облику збира више научних радова, који су повезани и састављени у једну логичну целину, уводним прегледом литературе из области теме докторске дисертације и закључком, који је дат у шестом поглављу дисертације. На крају дисертације се налазе кратка биографија аутора, списак објављених радова из саме дисертације и прилози. Докторска дисертација је написана на 79 страна и састоји се из девет поглавља:

1. Литературни преглед и теоријске основе (обим: 14 страна, 1 табела и 46 литературних цитата);
2. Циљ рада (обим: 1 страна);
3. Корозионо понашање легуре CuZn24Al5 у раствору натријум-тетрабората у присуству 1-фенил-5-меркапто-тетразола (обим: 20 страна, 10 слика, 6 табела и 31 литературни цитат);
4. Корозионо понашање легуре CuZn24Al5 у раствору натријум-сулфата у присуству 1-фенил-5-меркапто-тетразола (обим: 20 страна, 7 слика, 6 табела и 63 литературних цитата);
5. Корозионо понашање легуре CuZn24Al5 у раствору сумпорне киселине у присуству 1-фенил-5-меркапто-тетразола (обим: 17 страна, 6 слика, 5 табела и 47 литературних цитата);
6. Закључак (обим: 1 страна);
7. Биографија (обим: 1 страна).
8. Списак научних радова проистеклих из докторске дисертације (обим: 1 страна);
9. Прилози (обим: 4 стране).

### 2.2. Кратак приказ појединих поглавља

У *првом поглављу* дисертације дат је детаљан литературни преглед из области примене CuZnAl легура као легура које памте облик (СМА легуре), а услед потребе за испитивањем корозионог понашања легура у различитим корозионим срединама. Приказано је детаљно корозионо понашање бакра и легура бакра са цинком и алуминијумом у алкалној, неутралној и киселој средини, као и срединама које садрже хлоридне јоне.

Међу анализираним радовима уочено је да су органска једињења која садрже фенил групу, атом азота и/или атом сумпора, једињења који имају највећи потенцијал за примену као инхибитори корозије бакра и легура бакра. Исто тако, примећено је да нема резултата о

могућој примени и ефикасности 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора CuZnAl легуре у различитим воденим срединама, са и без присутних хлоридних јона, као јона чије присуство ствара једну од најагресивнијих корозионих средина за бакар и легуре бакра, што је и испитивано у оквиру дисертације. На крају поглавља дат је преглед коришћене литературе.

У другом поглављу детаљно је изложен циљ рада ове докторске дисертације.

У трећем поглављу докторске дисертације испитиван је утицај 1-фенил-5-меркапто-тетразола на процес корозије CuZn24Al5 легуре у алкалној средини, у  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  воденом раствору натријум-тетрабората, без и са додатком различитих концентрација хлоридних јона, у директном присуству различитих концентрација 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије или применом предтретмана у  $0,017 \text{ mol/dm}^3$  раствору 1-фенил-5-меркапто-тетразола. На почетку овог поглавља дат је увод, као и опис самог експерименталног рада. У наставку су приказани и анализирани добијени резултати: потенцијал отвореног кола, криве потенциодинамичке поларизације и цикличне волтаметрије, као и резултати добијени на основу методе губитка масе. На основу добијених вредности корозионих параметара, одређене су адсорпциона изотерма и енергија адсорпције, као и ефикасност инхибиције 1-фенил-5-меркапто-тетразола у зависности од концентрације, при чему је одређена концентрација 1-фенил-5-меркапто-тетразола оптимална за примену у испитиваној корозионој средини. Резултати добијени у електрохемијским експериментима комплементарни су са резултатима добијеним на основу методе губитка масе. На крају трећег поглавља приказана је коришћена литература у овој области истраживања.

У четвртој поглављу дисертације приказан је утицај 1-фенил-5-меркапто-тетразола на процес корозије CuZn24Al5 легуре у неутралној средини, у  $0,1 \text{ mol/dm}^3$  воденом раствору натријум-сулфата, без и са додатком различитих концентрација хлоридних јона, у директном присуству различитих концентрација 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије или применом предтретмана у  $0,017 \text{ mol/dm}^3$  раствору 1-фенил-5-меркапто-тетразола. На самом почетку и овог поглавља дат је увод, а затим опис експерименталних истраживања. Затим су приказани и анализирани добијени резултати: потенцијал отвореног кола, криве потенциодинамичке поларизације и цикличне волтаметрије. Даље су, на бази корозионих параметара одређивани: степен ефикасности, адсорпциона изотерма, енергија адсорпције и ефикасност инхибиције 1-фенил-5-меркапто-тетразола у зависности од концентрације и утврђена оптимална концентрација 1-фенил-5-меркапто-тетразола неопходна за примену у анализираној корозионој средини. На крају и овог поглавља наведена је коришћена литература.

У петом поглављу приказан је утицај 1-фенил-5-меркапто-тетразола на процес корозије CuZn24Al5 легуре у киселој средини, у 0,1 mol/dm<sup>3</sup> воденом раствору сумпорне киселине, без и са додатком различитих концентрација хлоридних јона, у директном присуству различитих концентрација 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије или применом предтретмана у 0,017 mol/dm<sup>3</sup> раствору 1-фенил-5-меркапто-тетразола. Најпре је у поглављу дат увод, а затим опис експерименталног рада. У наставку петог поглавља дисертације приказани су и анализирани добијени резултати: потенцијал отвореног кола, криве потенциодинамичке поларизације и цикличне волтаметрије. На основу вредности корозионих параметара одређени су: степен ефикасности, адсорпциона изотерма и енергија адсорпције, као и ефикасност инхибиције 1-фенил-5-меркапто-тетразола у зависности од концентрације, при чему је одређена оптимална концентрација 1-фенил-5-меркапто-тетразола за примену у испитиваној, киселој средини. На крају петог поглавља дисертације је дат литературни приказ.

У шестом поглављу докторске дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама”, дати су закључци донети на основу прегледа резултата добијених у дисертацији, а који су обухватили: постигнуту ефикасност инхибиције у испитиваним воденим срединама, утицај присуства хлоридних јона, опис механизма адсорпције 1-фенил-5-меркапто-тетразола на површину CuZn24Al5 легуре у испитиваним воденим срединама, као и утицај примене предтретмана у поређењу са директним присуством инхибитора у испитиваним срединама.

У седмом, осмом и деветом поглављу дати су биографија и библиографија кандидаткиње, Војке Гардић, дипл. инж. технологије, као и приказ неопходних прилога.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Својства која проистичу из особине високе еластичности CuZn24Al5 легуре као СМА легуре, као и хемијске и физичке карактеристике, чине је погодном за употребу у различитим областима индустрије: код израде уређаја за противпожарне системе у подземним јамама, пригушивача за смањење вибрација, система за транспорт флуида, у аутомобилској индустрији и другим областима инжењеринга. Међутим, због примене у различитим агресивним срединама (системима за транспорт флуида), може доћи до нарушавања хемијских, а самим тим и физичких својстава легуре, трајности и поузданости самог материјала. Осим тога, може доћи и до стварања великих материјалних губитака, акцидентних ситуација са великим последицама по здравље људи и угрожавање животне средине. Због тога су испитивања о могућој примени 1-фенил-5-меркапто-

тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре веома важна, како за индустрију, тако и за научна истраживања.

Посебна пажња у овој дисертацији усмерена је на испитивање корозионог понашање CuZn24Al5 легуре у различитим воденим срединама (алкална, неутрална и кисела средина), са посебним освртом на утицај хлоридних јона на корозионо понашање CuZn24Al5 легуре. Такође, анализирана је могућност примене предтретмана и упоређивање добијених ефикасности инхибиције са постигнутом ефикасношћу у срединама када је инхибитор директно присутан у одређеним концентрацијама.

Добијени резултати истраживања у овој докторској дисертацији, указали су на значајну ефикасност примене 1-фенил-5-меркапто-тетразола, односно на то, да се овај инхибитор може применити као квалитетан инхибитор корозије CuZn24Al5 легуре у индустријским условима, у свим испитиваним корозионим срединама, и то са различитим степенима ефикасности инхибиције. На овај начин, допринело би се знатном проширењу примене CuZn24Al5 легуре, трајности материјала, смањењу опасности од појаве акцидентних ситуација са последицама у смислу великих материјалних губитака, односно, смањењу утицаја на здравље људи и животну средину.

Добијени резултати испитивања утицаја примене предтретмана, када је потврђена већа ефикасност инхибиције у односу на директно присуство инхибитора у испитиваним срединама, указују на могућност већег доприноса код примене CuZn24Al5 легуре у транспотру флуида.

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

Током израде докторске дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“ кандидаткиња Војка Гардић је истражила постојећу релевантну литературу и навела радове објављене у часописима са SCI листе и другим међународним часописима који су у вези са темом дисертације. У наставку су наведени најзначајнији радови коришћени и цитирани у дисертацији:

1. Antonijevic M.M., Milic S.M., Electrochemical behavior of Cu<sub>24</sub>Zn<sub>5</sub>Al alloy in alkaline medium in the presence of chloride ions and benzotriazole, Mater. Chem. Phys., 2009, 118 (2-3) 385-391; <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2009.08.004>;
2. Brotzu A., Filippo B.D., Natali S., Zortea L., Corrosion behavior of Shape Memory Alloy in NaCl environment and deformation recovery maintenance in Cu-Zn-Al system, Frat. Ed Integrità Strutt., 2022, 62, 64-74; <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.62.05>;

3. Dahmani K., Galai M., Ech-Chebab A., Al-Zaqri N., Ouakki M., Elgendy A., Ez-Zriouli R., Kim S.C., Touhami M.E., Cherkaoui M., Investigating the Inhibitory Properties of Cupressus sempervirens Extract against Copper Corrosion in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Combining Quantum (Density Functional Theory Calculation-Monte Carlo Simulation) and Electrochemical-Surface Studies, ACS Omega, 2023, 8, 24218-24232.; <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00589>;
4. De Filippo B. Brotzu A., Natali S., Corrosion Behavior of Cu-Zn-Al Shape Memory Alloy in Controlled Environments, AIP Conf. Proc., 2020, 2257, 020013; <https://doi.org/10.1063/5.0024692>;
5. El Harrari S., Ayoub S., Takky, D., Naimi Y., Electrochemical Investigation of Terbinafine (C<sub>21</sub>H<sub>25</sub>N) as a Corrosion Inhibitor for Copper in a Molar Sulfuric Acid Solution, Egypt. J. Chem., 2023, 66, 6, 487-492; DOI: 10.21608/EJCHEM.2023.204665.7835;
6. Fateh A., Aliofkhazraei M., Rezvanian A.R., Review of corrosive environments for copper and its corrosion inhibitors, Arab. J. Chem., 2020, 13, 481-544; <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.021>;
7. Hrimla M., Bahsis L., Laamari M.R., Julve M., Stiriba S.E., An Overview on the Performance of 1,2,3-Triazole Derivatives as Corrosion Inhibitors for Metal Surfaces, Int. J. Mol. Sci., 2022, 23, 16; <https://doi.org/10.3390/ijms23010016>;
8. Jomy J., Sharma S., Prabhu P.R., Prabhu D., Corrosion Behavior of EN18 Steel and Copper in the Sulfuric Acid Medium for As-Bought and Annealed Materials, JMEPEG, 2023, 32, 8247-8261; <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07698-0>;
9. Kokalj A., Corrosion inhibitors: physisorbed or chemisorbed?, Corrosion Science, 2022, 196, 109939; <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109939>;
10. Kokalj A., On the use of the Langmuir and other adsorption isotherms in corrosion inhibition, Corros. Sci., 2023, 2017, 111112; <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111112>;
11. Kozlica D.K., Ekar J., Kovač J., Milošev I., Roles of Chloride Ions in the Formation of Corrosion Protective Films on Copper, J. Electrochem. Soc., 2021, 168, 031504; DOI:10.1149/1945-7111/abe34a;
12. Kozlica D.K., Kokalj A., Milosev I., Corrosion inhibition of copper and aluminium by 2-mercaptobenzimidazole and octylphosphonic acid - Surface pre-treatment and method of film preparation, Electrochim. Acta, 2022, 431, 141154; <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.141154>;
13. Kozlica D.K., Kokalj A., Milosev I., Synergistic effect of 2-mercaptobenzimidazole and octylphosphonic acid as corrosion inhibitors for copper and aluminium - An



electrochemical, XPS, FTIR and DFT study, *Corros. Sci.*, 2021a, 182, 109082; <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.109082>;

14. Mihit M., Issami S.E., Bouklah M., Bazzi L., Hammouti B., Addi E.A., Salghi R., Kertit S., The inhibited effect of some tetrazolic compounds towards the corrosion of brass in nitric acid solution, *Applied Surface Science*, 2006, 252, 2389-2395; DOI:10.1016/j.apsusc.2005.04.009;
15. Munawaroh H.S.H., Sunarya Y., Anwar B., Priatna E., Risa H., Koyande A.K., Show P.L., Protoporphyrin Extracted from Biomass Waste as Sustainable Corrosion Inhibitors of T22 Carbon Steel in Acidic Environments, *Sustainability*, 2022, 14, 3622; <https://doi.org/10.3390/su14063622>;
16. Nady H., El-Rabiei M.M., Samy M., Badawy V.A., The Influence of Alloying Elements (Al, Ni and Zn) on the Corrosion Resistance of Some Cu-Ternary Alloys in Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solutions, *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, 2020, 6, 22; <https://doi.org/10.1007/s40735-019-0318-5>;
17. Nady K., El-Rabiei M.M., El-Hafez G.M.A., Tribo J.B., Electrochemical Stability of Cu-10Al-10Zn, Cu-10Al-10Ni, and Cu-10Ni-10Zn Ternary Alloys in Simulated Physiological Solutions, *J. Bio Tribo-Corros.*, 2016, 2, 28; <https://doi.org/10.1007/s40735-016-0058-8>;
18. Pi J., Chen M., Chen T., Wang Q., Cheng S., Fu C., Corrosion inhibition effect of 1-phenyl-5-mercaptotetrazole on nick-el-aluminum bronze in seawater: A combined experimental and theoretical study, *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 2023, 666, 131354; <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131354>;
19. Privitera A., Porcelli F., Paoloni D., Persichetti L., Sotgiu G., Ruocco A., Capellini G., Sodo A., Chemical-physical characterisation of 5-Phenyl-1H-tetrazole inhibitive behaviour: a new non-toxic compound for a sustainable protection of Cu-alloys, *Journal of Applied Electrochemistry*, 2023, 53, 2375-2395; <https://doi.org/10.1007/s10800-023-01936-6>;
20. Rached S., Mzioud K., Habsaoui A., Galai M., Dahmani K., Ouakki M., EL Fartah S., Dkhireche N., Ebn Touhami M., Inhibition of Copper Corrosion in Sulfuric Acid by *Mentha Pulegium L, Portugaliae* *Electrochimica Acta*, 2024, 42, 137-153; <https://doi.org/10.4152/pea.2023420205>.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама, у докторској дисертацији „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“

кандидаткиње Војке Гардић, коришћене су најадекватније и најчешће коришћене методе у истраживаној области.

- Метода мерења потенцијала отвореног кола: добијене вредности потенцијала отвореног кола указују на тип инхибитора, односно на то, да ли испитивано органско једињење има израженији утицај на катодну или анодну реакцију.

- Метода потенциодинамичке поларизације: показује утицај промене потенцијала у катодном или анодном смеру на понашање електроде CuZn24Al5 легуре у испитиваним растворима. Као резултат, добијане су поларизационе криве на основу којих су одређивани корозиони параметри који карактеришу процесе који се одвијају у испитиваним системима. Један од њих је корозиона струја, чија је вредност даље коришћена у израчунавању степена покривености површине електроде коришћеним инхибитором и ефикасности инхибиције.

- Метода цикличне волтаметрије: метода поларизације која указује на то како се мења

вредност густине корозионе струје електроде са потенцијалом, у раствору одговарајућег састава. Снимања су вршена у опсегу потенцијала од -1,0 до 1,0 V у односу на засићену каломелову электроду. На основу ових мерења потврђено је дејство 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре.

- Поред електрохемијских метода, у дисертацији је коришћена и метода губитка масе,

како би се забележиле промене масе узорака CuZn24Al5 легуре након излагања у водени раствор натријум-тетрабората.

Примењене методе за изведена испитивања у овој докторској дисертацији су адекватне за дату врсту истраживања и користе се у истраживањима објављеним у најновијим публикацијама, у часописима са импакт фактором.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

На основу до сада објављених резултата приказаних у оквиру ове докторске дисертације, може се рећи да је остварен значајан допринос у истраживаној области. Изнети резултати и закључци у дисертацији потврђују могућност примене 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у алкалним, неутралним и киселим срединама, као и овим корозионим срединама у присуству хлоридних јона. Такође, испитивања су показала да је могућа примена 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора, директним додавањем у испитиваним срединама, када се постиже нешто мања ефикасност инхибиције у поређењу са постојањем предтретмана CuZn24Al5 легуре у раствору 1-фенил-5-меркапто-тетразола.

Како су резултати до којих је кандидаткиња дошла практични и примењиви, могуће је кроз даљи рад у овој области утврдити ефикасност 1-фенил-5-меркапто-тетразола као

инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у још увек неиспитаним корозионим срединама, као и могућност примене 1-фенил-5-меркапто-тетразола на друге СМА легуре бабра или друге СМА легуре.

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

Анализа резултата приказаних у оквиру докторске дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“, али и проистекли публиковани научни радови, потврђују способност кандидаткиње Војке Гардић, како за самостални научни рад, тако и за активно учешће у тимском раду.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Радам на докторској дисертацији „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“ остварен је значајан научни допринос у области заштите материјала, односно CuZn24Al5 легуре, од корозије у различитим воденим срединама. Научни допринос ове дисертације огледа се у следећем:

- Потврђена је могућност примене 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденом раствору натријум-тетрабората, натријум-сулфата и сумпорној киселини.
- Потврђен је утицај присуства хлоридних јона на повећање вредности корозионе струје у воденим растворима натријум-сулфата и сумпорној киселини, док у воденом раствору натријум-тетрабората утицај хлоридних јона на корозионо понашање CuZn24Al5 легуре није био значајан.
- Испитиван је и утврђен утицај концентрације 1-фенил-5-меркапто-тетразола на ефикасност инхибиције.
- Електрохемијска мерења су вршена у широком опсегу потенцијала. Тако добијени резултати омогућили су разумевање механизма растварања CuZn24Al5 легуре и адсорпције инхибитора, односно механизма формирања заштитног филма.
- Испитан је утицај предтретмана CuZn24Al5 легуре у раствору 1-фенил-5-меркапто-тетразола на ефикасност инхибиције корозије у испитиваним воденим срединама и упоређивана је постигнута ефикасност са ефикасношћу добијеном када је 1-фенил-5-меркапто-тетразола био директно присутан у испитиваним воденим срединама.

- У литератури нема довољно података о 1-фенил-5-меркапто-тетразолу као инхибитору CuZn24Al5 легуре у воденим растворима (алкалним, неутралним и киселим) и у срединама са присутним хлоридним јонима. Стога, добијени резултати дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“, доприносе не само бољем познавању датих система са научне тачке гледишта, већ и омогућавају процену могућности примене испитиваног инхибитора корозије у индустријским условима.

#### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

Постављени задаци и циљеви истраживања у дисертацији, у потпуности су остварени. Добијени резултати експерименталног истраживања пружају важне информације о циљу заштите CuZn24Al5 легуре од процеса корозије. Значај се огледа и у томе што је утврђено да 1-фенил-5-меркапто-тетразол може да се примени као инхибитор корозије легуре бакра CuZn24Al5 у алкалној, неутралној и киселој воденој средини, али и у присуству хлоридних јона. Такође, већа ефикасност инхибиције постигнута је применом предтретмана, што олакшава употребу инхибитора и омогућава његову примену код транспорта флуида, чиме се елиминише утицај присутног инхибитора на транспотровани флуид.

#### **4.3. Верификација научних доприноса**

Кандидаткиња Војка Гардић верификовала је резултате добијене у току израде докторске дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn24Al5 легуре у воденим срединама“, њиховим објављивањем у часописима међународног значаја, као првопотписани аутор, и то:

##### **Рад у истакнутом међународном часопису (M22)**

**Gardić V.**, Tasić Ž.Z., Petrović M.B., Mihajlović, Radovanović M.B., Antonijević M.M., Corrosion Behavior of the Cu<sub>24</sub>Zn<sub>5</sub>Al Alloy in Sodium Sulfate Solution in the Presence of 1-Phenyl-5-mercaptotetrazole, *Metals*, 2023, 13 (11) 1863; <https://doi.org/10.3390/met13111863>.

##### **Рад у међународном часопису (M23)**

**Gardić V.**, Gupta V., Antonijević, M., Corrosion behaviour of Cu<sub>24</sub>Zn<sub>5</sub>Al alloy in a sodium tetraborate solution in the presence of 1-phenyl-5-mercaptotetrazole, Indian J. Chem. Technol., 2014, 21, 350-358; <https://doi.org/10.56042/ijct.v21i5-6.6473>.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледане докторске дисертације „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn<sub>24</sub>Al<sub>5</sub> легуре у воденим срединама“, као и увидом у верификован научни допринос, кроз објављене радове у часописима (2 рада у међународним часописима категорије M20), Комисија за оцену урађене докторске дисертације закључује, да кандидаткиња Војка Гардић, дипл. инж. технологије, испуњава све законске и остале услове за одбрану докторске дисертације.

Такође, Комисија закључује, да је ова докторска дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Стандардима за акредитацију, као и Статутом и Правилником о докторским судијама Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду. Стога, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Техничког факултета у Бору, Универзитета у Београду, да прихвати позитиван Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Војке Гардић, дипл. инж. технологије, под називом: „Испитивање 1-фенил-5-меркапто-тетразола као инхибитора корозије CuZn<sub>24</sub>Al<sub>5</sub> легуре у воденим срединама“, да исти упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, и да након тога кандидаткињу позове на јавну одбрану дисертације.

У Бору,  
08.04.2024.

### Чланови комисије

---

др Снежана Милић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору,  
председник комисије

---

др Милан Радовановић, редовни професор  
Универзитет у Београду - Технички факултет у Бору,  
члан комисије

---

др Ђенђи Ваштаг, редовни професор  
Универзитет у Новом Саду, Природно-математички  
факултет у Новом Саду, члан комисије