ТЕСЛИНИ ИНОВАЦИОНИ ДАНИ

TESLA INNOVATION DAYS

Belgrade, Serbia, April 7 - 8, 2025

# ЗБОРНИК АПСТРАКАТА

# BOOK OF ABSTRACTS

## Организатор | Organizer

ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА
NIKOLA TESLA INSTITUTE

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО БЕОГРАД
NIKOLA TESLA INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING

## Покровитељи | Endorsements

Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије
Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia

Фонд за науку
Републике Србије

## Спонзори | Sponsors

THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP

#ЕУ ЗА ТЕБЕ

## Технички организатор | Technical organizer

BBN
CONGRESS MANAGEMENT
OSNOVANO / FOUNDED IN 1989

**ИЗДАВАЧ** | PUBLISHED BY

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО БЕОГРАД,
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade
Косте Главинића 8а, 11040 Београд, Србија | Koste Glavinića 8a, 11040 Belgrade, Serbia, PO Box 139
+381 (0)11 39-52-000
+381 (0)11 36-90-823
+381 (0)11 36-90-487
info@ieent.org
https://www.ieent.org/

**УРЕДНИК** | EDITOR
Др Маја Грбић | Dr. Maja Grbić

**ТЕХНИЧКИ УРЕДНИК** | TECHNICAL EDITOR
Татјана Југовић-Репајић | Tatjana Jugović-Repajić

**ТЕХНИЧКА ПОДРШКА И ДИЗАЈН** | TECHNICAL SUPPORT & COVER DESIGN
BBN Congress Management d.o.o.

**ШТАМПА** | PRINTED BY
ГПЦ Графичко пословни центар д.о.о. Београд

**ТИРАЖ** | COPIES
Штампано у 150 примерака | Printed in 150 copies

**МЕСТО ИЗДАВАЊА** | PUBLISHING PLACE
Beograd | Belgrade

**ГОДИНА ИЗДАВАЊА** | PUBLISHING YEAR
2025

TESLA INNOVATION DAYS – TID 2025
https://teslini-inovacioni-dani.com/

**DOI: 10.5937/TID25**

**ISBN 978-86-83349-20-3**

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

621.3(048)

**ТЕСЛИНИ иновациони дани (2025 ; Београд)**
Зборник апстраката / Теслини иновациони дани, ТИД ; [уредник Маја Грбић] = Book of Abstracts / Tesla Innovation Days, TID, Belgrade, Serbia, April 7-8, 2025 ; [editor Maja Grbić]. - Belgrade : Универзитет, Електротехнички институт Никола Тесла акционарско друштво Београд : University, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, 2025 (Београд : ГПЦ Графичко пословни центар). - 100 стр. : илустр. ; 30 cm

Апстракти упоредо на срп. и енгл. језику. - Тираж 150.

ISBN 978-86-83349-20-3

а) Електротехника -- Апстракти

COBISS.SR-ID 183462153

**Др Маја Грбић**, научни сарадник, Институт Никола Тесла, председница ТИД конференције

ПРОГРАМСКИ ОДБОР

**Др Драган Ковачевић**, научни саветник, Институт Никола Тесла
**Др Маја Грбић**, научни сарадник, Институт Никола Тесла
**Зоран Манасијевић**, Институт Никола Тесла
**Зоран Ћирић**, Институт Никола Тесла
**Александар Павловић**, Институт Никола Тесла
**Мр Велимир Унковић**, Институт Никола Тесла
**Др Јелена Лукић**, виши научни сарадник, Институт Никола Тесла
**Др Жарко Јанда**, виши научни сарадник, Институт Никола Тесла
**Др Јасна Драгосавац**, научни сарадник, Институт Никола Тесла
**Проф. др Владимир Терзија**, Newcastle University, UK
**Проф. др Јовица Милановић**, The University of Manchester, UK
**Др Милан Продановић**, IMDEA Energy Institute, Spain
**Проф. др Aldo Canova**, Politecnico di Torino, Italy
**Мр Горан Дробњак**, GE Vernova, Germany
**Ненад Узелац**, G&W Electric Co., USA
**Др Јелена Поноћко**, SP Energy Networks, UK
**Проф. др Јован Микуловић**, редовни професор, Електротехнички факултет
**Небојша Петровић**, Агенција за енергетику Републике Србије, CIGRE Србија
**Др Владимир Шиљкут**, научни сарадник, АД „Електропривреда Србије"
**Мр Душан Вукотић**, Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд
**Др Никола Куљача**, CIGRE Crna Gora, Црна Гора
**Мићо Тодоровић**, ЈЗУ Институт за јавно здравство Републике Српске, Босна и Херцеговина.

ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

**Александар Павловић**, Институт Никола Тесла
**Саша Миловановић**, Институт Никола Тесла
**Бранка Ковачевић**, Институт Никола Тесла
**Др Валентина Васовић,** Институт Никола Тесла
**Др Драгиња Михајловић,** Институт Никола Тесла
**Милица Ђукић,** Институт Никола Тесла
**Марјан Стојковић**, Институт Никола Тесла

**Dr. Maja Grbić,** Research Associate, Nikola Tesla Institute, president of TID Conference

PROGRAM COMMITTEE

**Dr. Dragan Kovačević,** Principal Research Fellow, Nikola Tesla Institute
**Dr. Maja Grbić,** Research Associate, Nikola Tesla Institute
**Zoran Manasijević,** Nikola Tesla Institute
**Zoran Ćirić,** Nikola Tesla Institute
**Aleksandar Pavlović,** Nikola Tesla Institute
**Mr Velimir Unković,** Nikola Tesla Institute
**Dr. Jelena Lukić,** Nikola Tesla Institute
**Dr. Žarko Janda**, Senior Research Associate, Nikola Tesla Institute
**Dr. Jasna Dragosavac,** Research Associate, Nikola Tesla Institute
**Prof. Dr. Vladimir Terzija,** Newcastle University, UK
**Prof. Dr. Jovica Milanović,** The University of Manchester, UK
**Dr. Milan Prodanović,** IMDEA Energy Institute, Spain
**Prof. Dr. Aldo Canova,** Politecnico di Torino, Italy
**MSc. Goran Drobnjak**, GE Vernova, Germany
**Nenad Uzelac,** G&W Electric Co., USA
**Dr. Jelena Ponoćko,** SP Energy Networks, UK
**Prof. Dr. Jovan Mikulović,** School of Electrical Engineering, University of Belgrade
**Nebojša Petrović,** Energy Agency of the Republic of Serbia, CIGRE Serbia
**Dr. Vladimir Šiljkut,** Electric Power Industry of Serbia
**MSc. Dušan Vukotić,** Electric Power Distribution Company of Serbia
**Dr. Nikola Kuljača,** CIGRE Montenegro, Montenegro
**Mićo Todorović,** Public Health Institute of the Republic of Srpska, Bosnia and Herzegovina

ORGANIZING COMMITTEE

**Aleksandar Pavlović,** Nikola Tesla Institute
**Saša Milovanović,** Nikola Tesla Institute
**Branka Kovačević,** Nikola Tesla Institute
**Dr. Valentina Vasović,** Nikola Tesla Institute
**Dr. Draginja Mihajlović,** Nikola Tesla Institute
**Milica Đukić,** Nikola Tesla Institute
**Marjan Stojković,** Nikola Tesla Institute

САДРЖАЈ | CONTENT


УСМЕНЕ ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ – ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ | ORAL PRESENTATONS – INVITED LECTURES ..... 9

**ESB EXPERIENCES WITH THE REMOVAL OF ELEMENTAL SULPHUR AND DBDS IN TRANSFORMER MINERAL OILS ..... 9**

Brendan Diggin ..... 10

**TRANSFORMER INSULATION SYSTEM – AGEING FACTORS AND MONITORING THROUGH THE OIL ..... 11**

Mamadou-Lamine Coulibaly ..... 11

**РАЗВОЈ ЗЕЛЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА СМАЊЕЊЕ РИЗИКА ОД ХАВАРИЈА ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА ИЗАЗВАНИХ ПРИСУСТВОМ ЕЛЕМЕНТАРНОГ СУМПОРА У ИЗОЛАЦИОНОМ УЉУ - GREENCLEANS ПРОЈЕКАТ ..... 12**

DEVELOPMENT OF GREEN TECHNOLOGY TO MITIGATE POWER TRANSFORMER FAILURES INDUCED BY ELEMENTAL SULPHUR AND CHANGE CURRENT HAZARDOUS PRACTICE IN TRANSFORMER OIL REGENERATION - GREENCLEANS PROJECT ..... 13

Јелена Лукић (Jelena Lukić) ..... 13
Александар Орловић (Aleksandar Orlović) ..... 14
Сандра Глишић (Sandra Glišić) ..... 14
Милица Ђукић (Milica Đukić) ..... 15

**ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS: BENEFICIAL OR HARMFUL? ..... 16**

Aldo Canova ..... 17

**ИЗАЗОВИ ДЕКАРБОНИЗАЦИЈЕ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИХ МРЕЖА У ШПАНИЈИ ..... 18**

CHALLENGES OF DECARBONIZATION OF ELECTRICITY NETWORKS IN SPAIN ..... 19

Милан Продановић (Milan Prodanović) ..... 20

**CHALLENGES IN EXPERIMENTAL TESTING OF DIELECTRIC STRENGTH OF SOLID INSULATION MATERIALS FOR POWER TRANSFORMERS ..... 21**

Dejan Vuković ..... 21

**EXPERIENCE ON NATURAL ESTER FILLED TRANSFORMER AT COLD CLIMATE CONDITION ..... 22**

Ahmed Gamil ..... 22

**САДАШЊОСТ И БУДУЋНОСТ НУКЛЕАРНЕ ЕНЕРГЕТИКЕ: НАПРЕДНИ РЕАКТОРСКИ СИСТЕМИ ..... 23**

THE PRESENT AND FUTURE OF NUCLEAR ENERGY: ADVANCED REACTOR SYSTEMS ..... 24

Ђорђе Лазаревић (Djordje Lazarević) ..... 25

**БЕЖИЧНИ ПУЊАЧИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА ВОЗИЛА – ИЗАЗОВИ И РЕШЕЊА ..... 26**

WIRELESS CHARGERS FOR ELECTRIC VEHICLES – CHALLENGES AND SOLUTIONS ..... 26

Никола Мирковић (Nikola Mirković ..... 27

**PREDICTIVE MAINTENANCE OF HYDROPOWER EQUIPMENT USING AI AND MACHINE LEARNING ..... 28**

Ramon Perez ..... 29

**ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ДИЈАГНОСТИЦИ СТАЊА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКЕ ОПРЕМЕ ..... 30**

POWER EQUIPMENT DIAGNOSTICS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ..... 30

Милета Жарковић (Mileta Žarković) ..... 31

**МОДЕРНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ, СЕРВИСИ И АПЛИКАЦИЈЕ: ОСНОВА СКАЛАБИЛНИХ *BIG DATA* ПРОЈЕКАТА И ДИГИТАЛНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ У ИСТРАЖИВАЊУ И ИНДУСТРИЈИ ..... 32**

MODERN INFRASTRUCTURE, SERVICES, AND APPLICATIONS: DRIVING SCALABLE BIG DATA PROJECTS AND DIGITAL TRANSFORMATION IN RESEARCH AND INDUSTRY ..... 32

Душан Бараћ (Dušan Barać) ..... 33

**ОДРЖАВАЊЕ ХИДРОГЕНЕРАТОРА У СВЕТЛУ ЗАНИМЉИВИХ СЛУЧАЈЕВА ИЗ ПРАКСЕ ..... 34**
HYDROGENERATOR MAINTENANCE – CASE STUDIES FROM PRACTICE ..... 34
Ђорђе Јовановић (Đorđe Jovanović) ..... 35
Ненад Карталовић (Nenad Kartalović) ..... 35
**APPLICATION OF THE NONLINEAR KERNEL PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS IN DETECTING DISK TO-DISK FAULTS ALONG A TRANSFORMER WINDING ..... 37**
Ebrahim Rahimpour ..... 37
Mohammed Bilal Ghorbal ..... 38
Hassan Reza Mirzaei ..... 38
**МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ОЦЕНУ ИЗЛОЖЕНОСТИ РАДНИКА ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКОМ ПОЉУ ПРИЛИКОМ РАДОВА У БЛИЗИНИ НАПОНА НА ДВОСИСТЕМСКИМ ПРЕНОСНИМ НАДЗЕМНИМ ВОДОВИМА ..... 39**
METHODOLOGY FOR THE ASSESSMENT OF EXPOSURE OF WORKERS TO ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS DURING MAINTENANCE WORK IN THE VICINITY OF HIGH VOLTAGE ON DOUBLE-CIRCUIT OVERHEAD POWER LINES ..... 40
Маја Грбић (Maja Grbić) ..... 41
**РАЗВОЈ ИНОВАТИВНИХ EMI SHIELDING МАТЕРИЈАЛА У ОКВИРУ ПРОЈЕКТА GRINSHIELD – НОВИ МАТЕРИЈАЛИ НА БАЗИ ГРАФЕНА ..... 42**
INNOVATION IN EMI SHIELDING MATERIALS INTEGRATED IN GRINSHIELD PROJECT – TWINNING FOR NEW GRAPHENE BASED NANOMATERIALS ..... 42
Светлана Јовановић (Svetlana Jovanović) ..... 43
**PRIMJENA TEHNIKA MAŠINSKOG UČENJA I EVOLUCIONIH ALGORITAMA ZA ODREĐIVANJE ELEKTRIČNOG I MAGNETNOG POLJA NADZEMNIH VODOVA ..... 45**
APPLICATION OF MACHINE LEARNING TECHNIQUES AND EVOLUTIONARY ALGORITHMS FOR OVERHEAD LINES ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD DETERMINATION ..... 45
Adnan Mujezinović ..... 46
Ajdin Alihodžić ..... 46

ПОСТЕР ПРЕЗЕНТАЦИЈЕ | POSTER PRESENTATONS ..... 48

**ЕСТИМАЦИЈА МАКСИМАЛНОГ ЈЕДНОВРЕМЕНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА НА ОСНОВУ МЕРЕНИХ ПОДАТАКА ..... 48**
ESTIMATION OF THE MAXIMUM SIMULTANEOUS LOAD BASED ON THE MEASURED DATA.. 48
Милица Дилпарић (Milica Dilparić) ..... 49
Сара Стаматовић (Sara Stamatović) ..... 49
Бранка Ковачевић (Branka Kovačević) ..... 50
Срђан Рикић (Srđan Rikić) ..... 50
**ИСПИТИВАЊЕ ИЗОЛАЦИЈЕ СТАТОРСКИХ ПАКЕТА ЛИМОВА ГЕНЕРАТОРА ВЕЛИКИХ СНАГА МЕТОДОМ МАГНЕТИЗАЦИЈЕ НАЗНЕЧЕНОМ ИНДУКЦИЈОМ ..... 51**
STATOR CORE IMPERFECTION DETECTION ON LARGE GENERATORS USING RING FLUX TEST METHOD ..... 51
Љубиша Чичкарић (Ljubiša Čičkarić) ..... 52
**АНАЛИЗА НИВОА ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКОГ ПОЉА У ОКОЛИНИ СТУБА МЕШОВИТОГ ПРЕНОСНОГ ВОДА НА МЕСТУ ПРЕЛАСКА ИЗ НАДЗЕМНЕ ДЕОНИЦЕ У КАБЛОВСКУ.... 53**
ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELD LEVELS IN THE VICINITY OF THE MIXED TRANSMISSION POWER LINE TOWER AT THE LOCATION OF TRANSITION FROM OVERHEAD TO CABLE SECTION ..... 53
Маја Грбић (Maja Grbić) ..... 54
Дејан Хрвић (Dejan Hrvić) ..... 55
Катарина Максић (Katarina Maksić) ..... 55
Драгана Томашевић (Dragana Tomašević) ..... 56
**3PINT ИНОВАТИВНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ КАО ТРАЈНО РЕШЕЊЕ ЗА УКЛАЊАЊЕ КОРОЗИВНОГ СУМПОРА У ЕНЕРГЕТСКИМ ТРАНСФОРМАТОРИМА ..... 57**
3PINT INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS PERMANENT SOLUTION TO MITIGATE CORROSIVE

SULPHUR IN POWER TRANSFORMERS ..... 57
Јелена Лукић (Jelena Lukić) ..... 58
Драгиња Михајловић (Draginja Mihajlović) ..... 58
Јелена Јанковић (Jelena Janković) ..... 59
Валентина Васовић (Valentina Vasović) ..... 59
Владимир Иванчевић (Vladimir Ivančević) ..... 60
Дејан Коларски (Dejan Kolarski) ..... 60
Неда Ковачевић (Neda Kovačević) ..... 61

**ТЕСТОВИ СТАРЕЊА АЛТЕРНАТИВНИХ ИЗОЛАЦИОНИХ ТЕЧНОСТИ ..... 62**
AGING TESTS OF ALTERNATIVE INSULATING LIQUIDS ..... 62
Валентина Васовић (Valentina Vasović) ..... 63
Ahmed Gamil ..... 64
Драгиња Михајловић (Draginja Mihajlović) ..... 64
Јелена Лукић (Jelena Lukić) ..... 64

**КРИТИЧКО МИШЉЕЊЕ У НАУЦИ И ОБРАЗОВАЊУ ..... 66**
CRITICAL THINKING IN SCIENCE AND EDUCATION ..... 66
Драгана Наумовић-Вуковић (Dragana Naumovic Vukovic) ..... 67
Борис Антић (Boris Antić) ..... 67
Невена Малешевић (Nevena Malesević) ..... 68
Лука Ивановић (Luka Ivanović) ..... 68

**МОДЕРНИЗАЦИЈА 6,3 KV ПОСТРОЈЕЊА У ТЕКО-А ..... 70**
MODERNIZATION OF 6.3 KV SWITCHGEAR IN THERMAL POWERPLANT KOSTOLAC A ..... 70
Златко Симеуновић (Zlatko Simeunović) ..... 71
Јелена Николић (Jelena Nikolić) ..... 71
Дејан Жуковски (Dejan Žukovski) ..... 71
Милош Станисављевић (Miloš Stanisavljević) ..... 72

**ПОБУДНИ СИСТЕМИ ЗА МОТОР-ГЕНЕРАТОРЕ У РХЕ БАЈИНА БАШТА ..... 73**
EXCITATION SYSTEMS FOR MOTOR-GENERATORS IN THE BAJINA BAŠTA PUMPED-STORAGE HYDROPOWER PLANT ..... 74
Душан Јоксимовић (Dušan Joksimović) ..... 75
Ђорђе Стојић (Đorđe Stojić) ..... 75
Зоран Ћирић (Zoran Ćirić) ..... 75
Славко Веиновић (Slavko Veinović) ..... 76
Лука Ивановић (Luka Ivanović) ..... 76
Илија Класнић (Ilija Klasnić) ..... 77

**ПОВЕЋАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ РАДА ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИХ ФИЛТЕРА У ТЕРМОЕЛЕКТРАНАМА – ПРЕГЛЕД ПАРАМЕТАРА И РЕШЕЊА ..... 78**
TESTING AND OPTIMISATION OF ELECTROSTATIC PRECIPITATIONS OF THERMAL POWER PLANT WITH EPS ..... 78
Зоран Марковић (Zoran Marković) ..... 79
Милић Ерић (Milić Erić) ..... 80
Александар Милићевић (Aleksandar Milićević) ..... 80
Иван Лазовић (Ivan Lazović) ..... 81
Предраг Стефановић (Predrag Stefanović) ..... 81
Илија Стевановић (Ilija Stevanović) ..... 82

**АНАЛИЗА ГАЛВАНСКОГ УТИЦАЈА ТРАНСФОРМАТОРСКЕ СТАНИЦЕ НАПОНСКОГ НИВОА 220/66/11 KV НА МЕТАЛНИ ЦЕВОВОД ПРИЛИКОМ ЗЕМЉОСПОЈА ..... 83**
ANALYSIS OF THE CONDUCTIVE COUPLING BETWEEN 220/66/11 KV SUBSTATION AND NEARBY PIPELINE DURING EARTH FAULT ..... 84
Стефан Обрадовић (Stefan Obradović) ..... 84
Маја Грбић (Maja Grbić) ..... 85
Горан Леповић (Goran Lepović) ..... 85

**РАЗВОЈ СЕНЗОРНИХ ПОЛИУРЕТАНСКИХ КОМПОЗИТА ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО ПАКОВАЊЕ ХРАНЕ ..... 86**
DEVELOPMENT OF SENSORY POLYURETHANE COMPOSITES FOR INTELLIGENT FOOD PACKAGING ..... 86
Иван Ристић (Ivan Ristić) ..... 87
Марија Крстић (Marija Krstić) ..... 87

**ИНОВАТИВАН ДИЗАЈН ИНСТРУМЕНАТА ЗА СИСТЕМЕ СА ПРОМЕНЉИВОМ УЧЕСТАНОШЋУ НА УЛАЗУ ..... 89**
INNOVATIVE INSTRUMENT DESIGN FOR SYSTEMS WITH VARYING FREQUENCY INPUTS ..... 89
Борис Антић (Boris Antić) ..... 90
**МЕТОДА МЕРЕЊА ФАЗЕ ЗАСНОВАНА НА ТАЈМЕРСКИМ МОДУЛИМА ..... 91**
PHASE MEASUREMENT METHOD BASED ON TIMER MODULES ..... 91
Сања Мандић (Sanja Mandić) ..... 92
Драган Пејић (Dragan Pejić) ..... 92
Ђорђе Новаковић (Đorđe Novaković) ..... 93
Марјан Урекар (Marjan Urekar) ..... 93
Платон Совиљ (Platon Sovilj) ..... 94
**АУТОНОМНИ РОВЕР ЗАСНОВАН НА МАШИНСКОМ ВИДУ ЗА ИНСПЕКЦИЈУ И НАДЗОР ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКЕ ОПРЕМЕ ..... 95**
VISION-BASED AUTONOMOUS ROVER FOR INSPECTION AND SURVEILLANCE OF POWER EQUIPMENT ..... 95
Младен Милић (Mladen Milić) ..... 96
Никола Марковић (Nikola Marković) ..... 96
Александар Рикаловић (Aleksandar Rikalović) ..... 97
**ДЕКАРБОНИЗАЦИЈА У ЕРИ ИНДУСТРИЈЕ 5.0 ..... 98**
DECARBONIZATION IN THE INDUSTRY 5.0 ..... 99
Саша Милић (Saša Milić) ..... 100
Саша Миловановић (Saša Milovanović) ..... 100

***DOI*: 10.5937/TID25009D**

# ESB EXPERIENCES WITH THE REMOVAL OF ELEMENTAL SULPHUR AND DBDS IN TRANSFORMER MINERAL OILS

Brendan Diggin, ESB International, Ireland

**Abstract:** The presence of elemental sulphur in transformer mineral oil has caused major problems in transformers over the past 15 years. It has been reported widely that the formation of elemental sulphur in oil has been closely associated with and caused by the regeneration process of the oil in various regeneration plants throughout the world. This presentation will illustrate how elemental sulphur is produced in mineral oil, the problems that this sulphur can create and how it can be removed from transformer oils.

While oil regeneration is an environmentally preferred and cost-effective solution, as well as being a tool for transformer life extension, it can also have detrimental effects on assets. In cases where elemental sulphur has been introduced into the oil, a decision must be made by the asset owner whether they continue to run the transformer with additional gas-in-oil monitors and control measures such as reducing the load, or whether to carry out a load tap changer replacement and/or elemental sulphur removal with a proven oil regeneration plant. This decision is largely influenced by the age of the transformer, the condition of the insulation in the transformer and its position on the network. The process of removing elemental sulphur has been implemented in the field by ESB on several large GSUs and auxiliary transformers. However, one of the main influencers on the processing time and how effective it can be is down to the type of activated alumina clay used as there is a wide variation in how quickly various clays can remove elemental sulphur. Ideally, any elemental sulphur removal should be carried out while the transformer is energised and on load.

The formation of copper sulphide in transformer windings has caused several failures in generator transformers, HVDC converters and in HV reactors over the last 25 years. The root cause of these failures has been attributed to the tendency of certain oils to contain sulphur compounds and which can react with copper to form copper sulphide. Some of the units which have failed contain dibenzyl disulphide (DBDS) which is one of several sulphur compounds known to cause copper corrosion in transformers under certain conditions.

This presentation will also discuss an investigation into abnormal gassing in a 220 kV shunt reactor on the ESB Network in Ireland which had a corrosive uninhibited oil, high DBDS levels and which also had a high stray gassing tendency according to ASTM D7150. The potential for copper sulphide formation as well as the production of hydrogen was a major concern, and coupled with the fact that the unit was a reactor heightened the risk of failure due to the corrosive oil. The presentation will explain the decision to regenerate the oil on-line and add inhibitor which made the oil non-corrosive and dramatically reduced the stray gassing problem.

Finally, some case studies on oils which are non-corrosive to ASTM-1275 and which have silver sulphide built up on the oltc contacts will be discussed.

**Keywords:** elemental sulphur, DBDS, silver corrosion, oil regeneration.

**Biography**

**Brendan Diggin** has been working in the High Voltage Electrical Engineering industry in Ireland and internationally for over 30 years. He joined ESB International in the mid-1990s. He is a member of the Institute of Engineers of Ireland and of Study Committee A2 in CIGRE. He has extensive experience in the inspection, maintenance, diagnostics and testing of transformers and of carry out major transformer fault investigations worldwide.

***DOI*: 10.5937/TID25011L**

# TRANSFORMER INSULATION SYSTEM – AGEING FACTORS AND MONITORING THROUGH THE OIL

Mamadou Lamine Coulibaly, EDF, France

**Abstract:** Insulation system used in power transformers is exposed to different constraints and particularly to thermal stress combined with oxidation and hydrolysis phenomenon.

Such process can lead to the gradual degradation of the cellulose/oil insulation by ageing, then a deterioration of transformer reliability.

Nowadays, due to the increased demand for energy consumption and the use of various types of energy on electrical network, ensuring the service operation continuity with reliability is not a choice but a key requirement which involves a continuous assessment and rigorous monitoring of the transformer insulation system.

For the assessment of cellulosic insulation ageing status, the most important characteristic to be evaluated by direct measurement is the degree of polymerization (DP). The disadvantage of this method is the non-accessibility of cellulose based materials in service.

Fortunately, indirect methods can be achieved by using the diagnosis via the analysis of cellulose degradation byproducts like markers (dissolved gas, furfural content, alcohol, etc.) produced in the insulating oil. In addition, DGA diagnosis techniques (online monitoring and/or direct sampling of oil) can be also used to identify faults in transformers and prevent equipment failures and service interruption.

This lecture is dealing with the transformer insulation system and the main factors affecting its ageing status as well as the monitoring through the ageing markers in oil. In addition, DGA diagnosis methods, mainly focused on Duval Pentagons and Triangles, for faults identification in power transformers is presented and the method applied to a service case study.

**Keywords:** power transformer, ageing, transformer oil, DGA.

## Biography

**Mamadou-Lamine Coulibaly** Received the Ph.D. degree in Electrical Engineering (High Voltage Insulation system, Dielectric Materials Technologies, Electric field/Partial Discharges Phenomena and their modeling) from Ecole Centrale de Lyon, France, in 2009. His Ph.D. thesis was achieved in collaboration, since 2005, with Areva T&D - ARC Villeurbanne. After receiving the Ph.D. degree, he joined as R&D Engineer Areva T&D (Ex Alstom Grid, presently GE Vernova) at Massy – TICC (Technology, Innovation and Competence Centre) where he worked for years as R&D Project Manager, Transformer Insulation Expert and Key Commodity Specialist. Currently he is with EDF since 2022 as Transformer insulation Expert. His expertise domain includes transformer insulation (liquids and solids), applied research, technical support, standardization, investigations on cellulose/oil insulation degradation, partial discharges, interaction between materials, ageing degradation factors (thermal, electrical, mechanical, physico-chemical, DGA interpretations, …), new/alternative solutions and new monitoring techniques, etc. He is member of CIGRE A2 & D1 and IEC Working Groups. He has Authored/Co-Authored several dozens of scientific publications including patent.

***DOI*: 10.5937/TID25015L**

# РАЗВОЈ ЗЕЛЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ЗА СМАЊЕЊЕ РИЗИКА ОД ХАВАРИЈА ЕНЕРГЕТСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА ИЗАЗВАНИХ ПРИСУСТВОМ ЕЛЕМЕНТАРНОГ СУМПОРА У ИЗОЛАЦИОНОМ УЉУ - GREENCLEANS ПРОЈЕКАТ

Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-3538-203X**
Александар Орловић, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-2645-8768**
Сандра Глишић, Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-0209-2258**
Милица Ђукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0009-0005-0430-3759**

**Кратак садржај:** GreenCleanS пројекат је финансиран од стране Фонда за Науку Републике Србије и основна идеја пројекта је развој нове технологије за уклањање елементарног сумпора из минералних трансформаторских уља коришћењем технологије засноване на нискотемпературним реагенсима, и напуштање ризичне праксе регенерације уља са реактивирајућим адсорбентима. Ове технологије стварају токсичне емисије (диоксине) ако се примењују на уљима која садрже PCB и додатно производе елементарни сумпор који изазива отказ трансформатора. Већина ових технологија не може уклонити елементарни сумпор којим је контаминирано трансформаторско уље.

Новоразвијена технологија – GreenCleanS са претходно патентираном технологијом за уклањање PCB и корозивних дисулфида представља интегрално решење за уклањање елементарног сумпора, PCB, дисулфида и продуката старења из минералних трансформаторских уља.

Развој нове технологије за уклањање елементарног сумпора из трансформаторских уља обухватио је обраду уља у лабораторијским условима, оптимизацију процесних параметара на пилот постројењу (TRL4), као и демонстрацију нове технологије у радном окружењу на локацији термоелектране у Србији, на количини од 3 тоне уља у ИНТ мобилном постројењу у циљу достизања TRL7.

Резултати пројекта ће допринети зеленој и одрживој испоруци електричне енергије и биће од користи за животну средину и друштво. Спречавање кварова енергетских трансформатора и смањење загађења ваздуха, узрокованих применом тренутно доступних технологија регенерације уља са реактивирајућим адсорбентима биће омогућено развојем GreenCleanS и применом 3PINT.
Смањење производње отпадног уља и угљеничног отиска енергетских трансформатора донеће позитиван утицај на животну средину, огромне уштеде у трошковима набавке капиталне опреме, као и избегавање економских губитака услед неиспоручене електричне енергије.

**Кључне речи:** иновативна технологија, обрада трансформаторског уља, еколошки затворена технологија, корозивни сумпор, елементарни сумпор.

# DEVELOPMENT OF GREEN TECHNOLOGY TO MITIGATE POWER TRANSFORMER FAILURES INDUCED BY ELEMENTAL SULPHUR AND CHANGE CURRENT HAZARDOUS PRACTICE IN TRANSFORMER OIL REGENERATION - GREENCLEANS PROJECT

Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-3538-203X**
Aleksandar Orlović, Faculty of Technology and Metallurgy University of Belgrade
**ORCID: 0000-0003-2645-8768**
Sandra Glišić, Faculty of Technology and Metallurgy University of Belgrade
**ORCID: 0000-0002-0209-2258**
Milica Đukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0005-0430-3759**

**Abstract:** The GreenCleanS project is financed on behalf of The Science Fund of the Republic of Serbia and its main idea is to introduce new technology for the removal of elemental sulphur from mineral transformer oils using low temperature reagent-based technology and change hazardous practice of oil regeneration with reactivating adsorbents. These technologies blow off toxic emissions (dioxins) if applied on non PCB-free oil and additionally produce elemental sulphur which induce power transformer failure. Most of these technologies can't remove elemental sulphur once it has contaminated transformer oil. Newly developed technology – GreenCleanS with previously patented technology for the removal of PCB and corrosive disulphides will become integrative solution 3PINT for the removal of elemental sulphur, PCB, disulphides and oil ageing products from mineral transformer oils. Development of new technology for the removal of elemental sulphur from transformer oils have included insulating oil treatments on laboratory scale, followed by optimization of process parameters on a pilot scale (TRL4), and demonstration of developed technology in operational environment in Serbia on batch of 3 tons of oil in INT mobile plant to achieve TRL 7. Previously patented technology will be included in on-site demonstration in order to demonstrate integrative solution for mineral transformer oil treatment - 3PINT. Project results are going to contribute to green and sustainable power delivery and benefits for the environment and society. Mitigation of power transformers failures and reduction of air pollution, caused by currently applied oil regeneration processes with reactivating adsorbents will be available with development of GreenCleanS and utilization of 3PINT. Reduction of waste oil generation, pollution of the environment and power transformers carbon footprint will bring strong positive impact on, huge savings on the costs of capital equipment, avoiding economic and societal losses of undelivered electricity.

**Keywords:** innovative technology, transformer oil treatment, environmentally closed technology, corrosive sulphur, elemental sulphur.

**Биографије | Biographies**

**Јелена Лукић (Jelena Lukić)**

Др Јелена Лукић, дип. инж. техн. запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, Београд, Србија од 1996. године. Руководилац је специјализоване лабораторије за испитивање изолационог уља и папира, акредитоване према ISO 17025. Аутор је преко 20 публикација у истакнутним часописима и преко 50 радова на међународним и домаћим конференцијама. Бави се анализом изолационог уља и папира и дијагностиком стања енергетских трансформатора, старењем изолационог уља и целулозе и иновацијама у области примене хемијских технологија у третману изолационих течности и PCB деконтаминације уља и трансформатора. Проналазач је два регистрована патента у овој области. Водила је више од 20 истраживачких пројеката, истакнути је члан међународног комитета CIGRE. Била је члан у око 20 CIGRE SC D1, SC A2 и IEC TC 10 WG радних група и руководилац две радне групе у IEC TC 10

и CIGRE. Тренутно руководи радном групом CIGRE WG D1.76: „Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers" и CIGRE SC A2-Power Transformers: „Silver Corrosion in Transformers". Јелена Лукић је делегат Српског националног комитета у Међународном електротехничком комитету Технички комитет 10 (IEC TC 10) – Флуиди за електротехничке примене и IEC TC 10 ко-официр за везу CIGRE SC A2.

*Jelena's field of expertise is insulating oil and paper analyses and power transformers condition assessment, insulating oil and cellulose ageing, know-how in oil treatment processes for the removal of corrosive sulfur and PCB. She holds two registered patents in this field. She has published 92 research and technical papers and has been a project leader of more than 20 research projects. Jelena has been a member in more than 20 CIGRE SC D1, SC A2 and IEC TC 10 WG's over the past two decades. She is currently convener of CIGRE WG D1.76: Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers and CIGRE SC a2.02. Task Force on Silver Corrosion in Power Transformers (2024-2025). Jelena Lukic is a delegate of the Serbian National Committee in International Electro-technical Committee Technical Committee 10 (IEC TC 10) – Fluids for Electro-technical Applications, Distinguished member of CIGRE in 2024 and IEC TC 10 Liaison Co-officer of CIGRE SC A2.*

### Александар Орловић (Aleksandar Orlović)

Др Александар Орловић је професор хемијског инжењерства на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Његове наставне активности обухватају следеће курсеве: Основи реакторског инжењерства, Пројектовање хемијских реактора, Основи пројектовања, Хетерогена катализа и Каталитички процеси у преради нафте. Активно је учествовао у истраживањима посвећеним темама као што су: каталитички реакциони процеси, пројектовање и моделовање каталитичких реактора, процеси под високим притисцима, напредни материјали за каталитичке примене, као и прерада угљоводоника, горива и изолационих течности. Професор Орловић учествовао је у више од 60 истраживачких и развојних пројеката са компанијама, као и међународним и националним истраживачким фондовима. Његове публикације цитиране су више од 1000 пута у научној и стручној литератури.

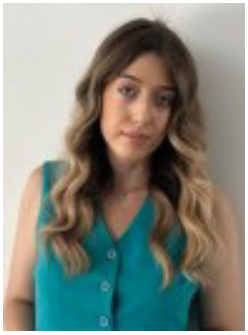
*Dr. Aleksandar Orlovic is Professor of Chemical engineering at the Faculty of Technology and Metallurgy University of Belgrade. His teaching activities are dedicated to the following courses: Elements of Chemical Reaction Engineering, Chemical Reactor Design, Introduction to Engineering Design, Heterogeneous Catalysis and Catalytic Processes in Petroleum Refining. He was actively involved in research topics dedicated to subjects of: Catalytic Reaction Processes, Catalytic Reactor Design and Modelling, High Pressure Processes, Advanced Materials for Catalytic Applications, as well as Processing of Hydrocarbons, Fuels and Insulating Fluids. Professor Orlovic was involved in more than 60 research and design projects with companies and international and national research funding agencies. His publications received more than 1000 citations in the scientific and professional literature.*

### Сандра Глишић (Sandra Glišić)

Др Сандра Глишић је ванредни професор хемијског инжењерства на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Њене наставне активности су посвећене следећим предметима: Основи хемијског инжењерства, Пројектовање хемијских реактора, Основе пројектовања, Основи рафинације нафте, петрохемијско инжењерство, БАТ/БЕП и процена утицаја на животну средину. Др Глишић је професионални консултант са фокусом на истраживању биогорива у вези са пројектовањем процеса, економском и еколошком изводљивошћу производног процеса, алтернативним технологијама и сировинама. Такође, специјалиста је за надкритичне течности, процесе ремедијације и процеса рафинерије са фокусом на пројектовању и моделовању каталитичких реактора. Др Глишић је била у више од 40 истраживачких и индустријских пројеката са компанијама и међународним и националним истраживачким финансијским агенцијама. Њене публикације су добиле више од 1000 цитата у научној и стручној литератури.

*Dr. Sandra Glišić is Assistant Professor of Chemical engineering at the Faculty of Technology and Metallurgy University of Belgrade. Her teaching activities are dedicated to the following courses: Elements of Chemical Reaction Engineering, Chemical Reactor Design, Introduction to Engineering Design, Fundamentals of Petroleum Refining and BAT/BEP and environmental impact assessment. She is professional consultant with the focus on the biofuel research regarding process design, economic and environmental feasibility of process production, alternative technology and feedstock. Also, specialist for supercritical fluids, remediation technology and refinery process with the focus on catalytic reactor design and modelling. Dr. Glišić was involved in more than 40 research and design projects with companies and international and national research funding agencies. Her publications received more than 1000 citations in the scientific and professional literature.*

**Милица Ђукић (Milica Đukić)**



Милица Ђукић, мастер инжењер технологије, запослена је на Електротехничком институту Никола Тесла у Београду од 2023. године. Ради на позицији сарадника у Специјализованој лабораторији за испитивање изолационих уља и папира, акредитованој према ISO 17025, где је ангажована од почетка запослења. У новембру 2024. године, Милица је уписала докторске академске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на Катедри за хемијско инжењерство. У оквиру мастер тезе бави се темом процене утицаја процеса дехалогенације и десулфуризације трансформаторског уља на животну средину.

*Milica Đukić, Master of Science in Chemical Engineering, has been employed at the Nikola Tesla Institute in Belgrade since 2023. She works as an associate in the Specialized laboratory for testing insulating oils and papers, accredited according to ISO 17025. In November 2024, Milica started her PhD studies at the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Department of Chemical Engineering. Her master's thesis focuses on assessing the environmental impact of the dehalogenation and desulfurization processes of transformer oil.*

***DOI*: 10.5937/TID25016C**

# ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS: BENEFICIAL OR HARMFUL?

Aldo Canova, Politecnico di Torino - Energy Department "Galileo Ferraris", Italy
**ORCID: 0000-0002-0014-5918**

**Abstract:** The topic of the effects of electric and magnetic fields, particularly at low frequencies, on living organisms has been widely debated over the past 60 years. Despite numerous studies, much remains to be explored. Humans and, more generally, living organisms have evolved within a natural magnetic field, the Earth's geomagnetic field (GMF), and have inevitably been influenced by it.

Before the year 2000, numerous studies and experiments were conducted on this subject, demonstrating how the GMF influences various biological phenomena in humans, animals, and plants. More recently, interest in this topic has increased due to the hypothesis of living on planets other than Earth, where the GMF is absent, in order to assess the possible consequences.

In the era of industrialization, the rise of communications, and electrification, the impact of electromagnetic fields on human health has become a crucial issue. Various modes of interaction can be classified based on the frequency, intensity of the fields, and duration of exposure.

The scientific community has extensively studied this phenomenon. On one hand, "confirmed effects" have been clearly identified in the presence of high-intensity fields. On the other hand, when it comes to prolonged exposure to low-intensity fields, epidemiological studies have sometimes shown contradictory results. This has led to the need to establish international commissions, such as the ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), to guide policymakers in their decisions.

The IARC (International Agency for Research on Cancer), an agency of the WHO (World Health Organization), has also played a key role in evaluating the potential health risks of electromagnetic fields. In 2002, the IARC classified extremely low-frequency magnetic fields (ELF) as "possibly carcinogenic to humans" (Group 2B) based on limited evidence suggesting a possible increased risk of childhood leukemia.

At the same time, transnational governmental organizations, such as the European Commission, have issued directives for protection against short-term effects of electromagnetic fields. Member states have subsequently adopted these directives, integrating them into their national laws. As a result, the global legislative landscape remains highly inconsistent.

A final crucial aspect of electromagnetic field interactions with humans is their use for therapeutic purposes. This field is also vast, but here we will focus on a specific application: Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF).

This technique is widely used in medicine and involves the application of pulsed electric or magnetic fields to stimulate the growth of specific cells, such as bone cells, aiding in post-fracture recovery. PEMF therapy is also used for treating conditions like osteoporosis and muscular inflammation.

Numerous studies are being conducted on these techniques, yet the cellular mechanisms triggered by these electromagnetic stimuli are still not fully understood.

There remain many aspects and uncertainties that science must address. The fundamental question remains: How can electromagnetic fields, even at low intensities, interact with biological phenomena?

It appears that Quantum Biology, the latest frontier in science, might begin to provide answers...but much remains to be discovered.

**Keywords:** electric field, magnetic field, pulsed electromagnetic fields (PEMF), geomagnetic field, health and biological effects.

**Biography**

## Aldo Canova

1992: Degree and 1996: PhD in electrical engineering at the Politecnico of Torino (Italy) Oct. 1992–March 1993: Researcher at "Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris" (Torino, Italy). 1995: Researcher at Napier University (Edinburgh, Scotland). 1995 – 2003: Researcher at Dipartimento di Ingegneria Elettrica of the Politecnico di Torino (Italy) 2004 to 2017: Associate Professor and since 2017 Full Professor in Electrical Engineering Science. Since 2004 – Member of Comitato Elettrotecnico Nazionale - Tech. Committee CT106 (Methods for the assessment of electric, magnetic and electromagnetic fields associated with human exposure). 2015 to 2019 President of Scientific Committee of the Italian Non-Destructive Testing Association (AIPnD), then 2019-2022 General Secretary and since 2023 Vice President. 2007–2012 Founder-President of the Spin Off of Politecnico di Torino: AMC Instruments Ltd. operates in non destructuve testing. 2018–2024 Chairman on Electrical Engineering Course and now Vice Coordinator of Electrical and Energetical school at the Politecnico di Torino. Since May 2022 member of the International Advisory Board of the Nikola Tesla Institute in Belgrade. He has authored/coauthored about 180 scientific publications and 8 patents. He is involved in research activities related to numerical computation of electromagnetic fields in power devices, magnetic shielding, human exposure to electromagnetic fields, energy system modelling and optimisation and non-destructive testing.

***DOI*: 10.5937/TID25018P**

# ИЗАЗОВИ ДЕКАРБОНИЗАЦИЈЕ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИХ МРЕЖА У ШПАНИЈИ

Милан Продановић, Instituto IMDEA Energía, Шпанија
**ORCID: 0000-0001-5500-9799**

**Кратак садржај:** Значајни политички и економски напори уложени су у оквиру Европске уније како би се ублажили ефекти климатских промена. У складу са усвојеним директивама, више држава чланица развило је националне стратегије и перспективне студије. Једна од најамбициознијих иницијатива је Национални енергетски и климатски план (NECP) Шпаније, који предвиђа значајно смањење емисије CO и других штетних гасова у енергетском сектору.

Ова презентација ће се бавити главним изазовима повезаним са декарбонизацијом електроенергетских мрежа, као и могућим техничким и тржишним решењима. Дискусија ће почети прегледом специфичне топологије електроенергетске мреже на Иберијском полуострву и њене повезаности са другим мрежама. Затим ће бити анализирани трендови у потрошњи енергије и приказ обновљивих извора енергије. На крају, биће представљен постојећи регулаторни оквир и услови на тржишту енергије и енергетских услуга.

Декарбонизација подразумева интеграцију обновљивих извора енергије (ОИЕ) у електроенергетску мрежу у великом обиму. У Шпанији, ова транзиција се углавном односи на производњу енергије из ветра на северозападу и фотонапонске (PV) изворе у централним и јужним регионима. Поред тога, планирају се и плутајући ветропаркови у Атлантском океану и Медитерану. Истовремено, бројне конвенционалне термоелектране на угаљ и гас су у процесу гашења. Овај процес доноси низ кључних изазова: Како управљати варијабилношћу ОИЕ и обезбедити сигурну снабдевеност? Где је потребно ојачати мрежу? Како надоместити губитак синхроне генерације? Како очувати квалитет услуге? Који су тржишни механизми и регулаторни оквири потребни? И како управљати вишком производних капацитета?

У циљу ублажавања последица губитка синхроне генерације—нарочито смањења инерције и маргина стабилности напона—предложена су различита техничка решења. Претварачи енергије који се користе са обновљивим изворима и батеријским системима нуде напредне функције као што је Grid-Forming (формирање мреже). Поред тога, претварачи у статичким компензаторима у комбинацији са складиштем енергије могу пружити неопходне мрежне услуге. Као традиционалнија алтернатива, разматра се употреба синхроних компензатора. Имплементација ових решења уско је повезана са развојем регулаторних оквира и формирањем нових тржишта услуга. Поред тога, потребни су напредни алати за планирање како би се идентификовале најефикасније стратегије – било да су прописане правилима о раду преносног система или да се такмиче у новим тржишним условима.

Ова презентација ће се фокусирати на техничко-економско-еколошке алате који подржавају трансформацију електроенергетске мреже у контексту декарбонизације. Посебна пажња биће посвећена утицају на различите аспекте стабилности мреже и критичкој анализи могућих решења. Биће размотрене различите топологије управљања претварачима и упоређене у погледу њихове способности да пруже мрежне услуге и усклађености са развојем правила о раду преносног система.

**Кључне речи:** декарбонизација, електране обновљивих извора енергије, претварачи снаге, нове мрежне услуге.

# CHALLENGES OF DECARBONIZATION OF ELECTRICITY NETWORKS IN SPAIN

Milan Prodanovic, Instituto IMDEA Energía, Spain

**Abstract:** Significant political and economic efforts have been undertaken within the European Union to mitigate the effects of climate change. In alignment with adopted directives, several member states have developed national strategies and prospective studies. One of the most ambitious initiatives is Spain's National Energy and Climate Plan (NECP), which outlines a substantial reduction in CO and other emissions within the energy sector.

This talk will address the main challenges associated with the decarbonisation of electricity networks, as well as explore potential technical and market-based solutions. The discussion will begin with an overview of the specific topology of the electricity network in the Iberian Peninsula and its interconnections. This will be followed by an analysis of trends in energy demand and a mapping of renewable energy resources. Finally, the current regulatory framework and the conditions of the energy and service markets will be introduced.

Decarbonisation entails the large-scale integration of renewable energy sources (RES) into the power grid. In Spain, this transition primarily involves wind generation in the northwest and photovoltaic (PV) sources in the central and southern regions. Additionally, there are plans for floating offshore wind farms in both the Atlantic and Mediterranean areas. Simultaneously, many conventional coal and gas-fired power plants are being decommissioned. This transformation gives rise to several key challenges: How can RES variability be managed to meet demand? Where should the power grid be reinforced? How can the loss of synchronous generation be compensated? How can service quality be maintained? What market mechanisms and regulatory frameworks are needed? And how should excess generation capacity be handled?

To address the loss of synchronous generation—particularly the associated reduction of inertia and voltage stability margins—various technical solutions have been proposed. Power converters used with renewable energy sources and battery systems offer advanced functionalities, such as Grid-Forming capability. Additionally, converters in static compensators, when paired with energy storage, are expected to deliver essential network services. A more traditional alternative involves the deployment of synchronous condensers. The implementation of these solutions is closely linked with the evolution of regulatory frameworks and the development of new service markets. Moreover, advanced planning tools are needed to identify the most cost-effective strategies—whether they are mandated by Grid Codes or capable of competing in emerging service markets.

This presentation will explore techno-economic-environmental tools designed to support the transformation of the electricity network in the context of decarbonisation. In particular, it will assess the impact on various aspects of network stability and critically evaluate potential solutions. Different control topologies for power converters will be examined and critically compared, both in terms of their ability to provide grid services and their compliance with evolving Grid Codes.

**Keywords:** decarbonisation, renewable energy sources, Converter-Interfaced-Generation, new grid services.

**Биографија | Biography**

**Милан Продановић (Milan Prodanović)**

Милан Продановић је дипломирао електротехнику на Универзитету у Београду, 1996. године и докторирао електротехнику и електронику на *Imperial College London*, у Уједињеном Краљевству 2004. Од 1997. до 1999. радио је у *GVS Engineering Company*, Србија, на развоју УПС система. Од 1999. до 2010. био је научни сарадник за електротехнику и електронику на *Imperial College*. Тренутно је виши истраживач и шеф одељења за електричне системе у Институту *IMDEA Energy*, Мадрид, Шпанија. Аутор је бројних високо цитираних научних радова и три патента. Његова истраживачка интересовања обухватају пројектовање и управљање претварача енергетске електронике за дистрибуиране изворе електричне енергије, стабилност и контролу микромрежа и активно управљање дистрибутивним мрежама.

*Milan Prodanovic received his B.Sc. degree from electrical engineering from the University of Belgrade, Belgrade, Serbia, in 1996, and the Ph.D. degree in electric and electronic engineering from Imperial College, London, U.K., in 2004. From 1997 to 1999, he was with GVS Engineering Company, Serbia, developing UPS systems. From 1999 to 2010, he was a Research Associate in electrical and electronic engineering with Imperial College. He is currently a Senior Researcher and the Head of the Electrical Systems Unit, Institute IMDEA Energy, Madrid, Spain. He authored a number of highly cited articles and is the holder of three patents. His research interests include design and control of power electronics interfaces for distributed generation, microgrids stability and control, and active management of distribution networks.*

***DOI*: 10.5937/TID25021V**

# CHALLENGES IN EXPERIMENTAL TESTING OF DIELECTRIC STRENGTH OF SOLID INSULATION MATERIALS FOR POWER TRANSFORMERS

Dejan Vuković, Hitachi Energy, Germany

**Abstract:** Typical insulation system of power transformers consists of insulating liquid (e.g. mineral oil, esters) and liquid impregnated solid insulation. As solid insulation often is used cellulose based material in form of thin paper, single pressboard sheet or laminated multiple pressboard sheets.

The requirements for pressboard that can be used in power transformers are defined by international standards, e.g. IEC 60641-2, 60243-1 or ASTM D149 & D3394. This presentation focuses on test methos as defined by IEC 60243-1 and IEC 60763-2.

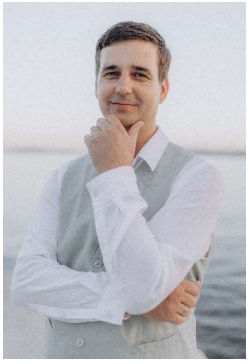
The relevance of samples and test setup preparation/preconditioning is being analyzed. Parameters like the influence of drying and impregnation of samples, high voltage connections and application as well as post processing of measured values is evaluated involving some examples of bad and good practices.

The dielectric stresses generated by these test methods are calculated and compared with typical stresses that appear inside power transformers.

The study which is here presented indicates that existing test methods need to be improved to achieve better reproducibility of measurements. Furthermore, there is a need to develop new test methods which would replicate more realistically the dielectric stresses in solid insulation as it can be found within power transformer insulation system.

**Keywords:** testing, solid insulation materials, power transformers.

## Biography



**Dejan Vuković** is R&D Program Manager at Hitachi Energy Power Transformers. Since 2012 member of global Hitachi Energy (former ABB) technology team and located in Bad Honnef, Germany. Specialized on dielectrics design and test failures investigations. Since 2005 active in R&D of power transformers covering different areas (e.g. materials testing and qualification for application in high voltage technology, development and implementation of dielectric and thermal design rules, etc). Active member of IEC and CIGRE working groups as well in VDE ETG, IEEE DEIS. Convener CIGRE JWG D1/A2.80 and IEC TR 60076-26 JMT. Author of numerous international conference/journal publications.

***DOI*: 10.5937/TID25022G**

# EXPERIENCE ON NATURAL ESTER FILLED TRANSFORMER AT COLD CLIMATE CONDITION

Ahmed Gamil, Hitachi Energy, Germany

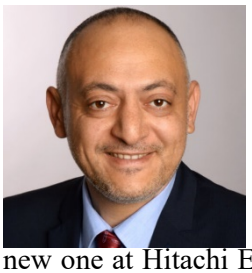
**Abstract:** The selection of insulation liquids to be used in power transformers in cold climate region has focused on comparing the pour points and the minimum ambient temperature registered in the location of transformer installation. On that base if the customer specification indicates that the minimum temperature during transformer outage period would be below the pour point of a specified insulation liquid, this liquid is usually excluded from transformer commission. On the other hand, labs experience shows that the liquid could be frozen at a temperature, which is higher than the pour point, usually known as freezing point, and which increase the restrictions for liquid selection. On a real scale of a transformer, the challenge considers the dielectric and mechanical limits of the design. There are three phases the transformer goes through after installation: storage, energizing and loading. The experience shows that the most critical moment of energizing is during solid-liquid transition phase, in which release of bubbles is expected causing partial discharge leads to dielectric failure. Mechanically if the pressure release during de-freezing the liquid exceed the design limitation, mechanical damage is to be expected specially in the cooling system.

This identifies that the time to start freezing is a function of cooling temperature and location presented in the ratio of liquid volume to the surface area exposed to ambient. If the storage time could be limited at a certain subzero temperature so that the liquid is not starting to freeze, the energization is safe to start, and no issue are expected. The current research presents testing of natural ester filled transformer for approval of the liquid at -15°C, while it has a pour point at -30°C. Analyzing of the thermal time constant of the liquid during storage and after energizing phase gives more space for the liquid application even under lower temperature and more time for outage periods. Moreover, the liquid temperature distribution profile shows a minimum temperature above zero degrees, which ensure the possibility of operating the transformer at no-load safely, even if the temperature goes down closer to pour point.

This state-of-the-art experience proven that challenge of operating power transformer at extreme cold temperature can be handled if all influencing factor are considered and controlled as long as the liquid does not start solidification.

**Keywords:** Natural ester, cold climate, power transformer, liquid solidification, thermal time constant

## Biography



**Ahmed Gamil** received his M.Sc. degree from RWTH Aachen, Germany in 2004 (High Voltage Technology). Ahmed worked previously at University of Erlangen (FAU, EES) as scientific research assistance for the development of differential protection systems before joining SGB-SMIT Group. In 2010 he joined SGB in Regensburg with the aim of building the R&D Department from a technology and management point of view. In the last years as head of R&D, he contributed by different publications to transformer design optimization and technology innovation. His journey at SGB ends in Oct. 2022 to start a new one at Hitachi Energy as "Business R&D Expert Professional" from Nov. 2022. His focus is to improve testing procedure of insulation liquids for aging and compatibility and introduce an application guideline for power transformer under environmental stresses. He is an active member in IEC and CIGRE working groups and contributed as an author in the new CIGRE Green Book for "Transformers and Reactors Life Management".

***DOI*: 10.5937/TID25023L**

# САДАШЊОСТ И БУДУЋНОСТ НУКЛЕАРНЕ ЕНЕРГЕТИКЕ: НАПРЕДНИ РЕАКТОРСКИ СИСТЕМИ

Ђорђе Лазаревић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-7258-2658**

**Кратак садржај:** Напредни нуклеарни реакторски системи (III+ генерације) обухватају карактеристике које су релевантне у тренутној реалности, као и потенцијале за будући развој. У питању су реактори великих снага (већих од 1000 MW) са технологијама којима је потпуно овладано, који се успешно користе у свету, и који су скоро потпуно одговорили на постављене захтеве за реакторе будућности (IV генерације). Ови реактори нуде бројне предности у односу на постојеће II генерације. Док ризик од акцидената који би могао довести до оштећења нуклеарног горива код реактора II генерације износи реда $10^4$, код реактора III+ генерације тај ризик је између $10^7$ и $10^6$. Једноставнији и робуснији дизајн ових реактора чини их лакшим за управљање и мање подложним оперативним проблемима, што повећава њихову ефикасност и поузданост у раду. Поред тога, ови реактори имају умањену емисију радионуклида у животну средину и омогућавају ефикаснију употребу горива, што резултира мањим количинама радиоактивног отпада.

Једна од кључних карактеристика реактора III+ генерације је то што је обезбеђено да могу да издрже 72 сата у случају потпуног прекида снабдевања електричном енергијом, без потребе за активном интервенцијом оператора током тог периода. Код једних се то постиже коришћењем технологија са активним компонентама (EPR i APR1400), други се искључиво ослањају на пасивне компоненте (AP1000), док се код трећих то остварује комбинацијом активних и пасивних система (VVER-1200 i Hualong One). Пасивни сигурносни системи заснивају се на природним феноменима, попут гравитације, природне циркулације, конвекције и других, за одвођење заостале топлоте, чиме је смањена потреба за сложеним електричним и механичким компонентама, што је допринело повећању сигурности и смањењу ризика у случају потпуног губитка снабдевања енергијом. Код свих, било да користе активне, пасивне или комбиноване сигурносне системе, након 72 сата је неопходно допунити резервоаре са водом која је коришћена за хлађење, уколико и даље није успостављено снабдевање спољним напајањем, што се постиже активирањем постојећих система, попут дизел-агрегата за снабдевање енергијом пумпи за воду или покретних возила са пумпама за допуну резервоара, чиме је остварена значајна редунданција.

Такође, предности модуларне градње, која омогућава бржу изградњу и смањење трошкова кроз стандардизоване компоненте, као што су примери AP1000, EPR, VVER-TOI и других модела III+ генерације, показују на који начин се од ових реакторских система очекују повећана ефикасност, сигурност и смањење времена изградње, што доприноси рационалној употреби енергетских ресурса.

У будућности, напредни нуклеарни реактори, поред побољшане сигурности и ефикасности у производњи енергије, очекује се да допринесу дугурочној одрживости енергетског сектора кроз овладавање реакторима на брзе неутроне, као и минимизацији радиоактивног отпада који захтева дугорочно управљање. Поред тога, иновације у дизајну реактора будућности омогућиће већу термодинамичку ефикасност, као и коришћење процесне топлоте за примене попут високотемпературне електролизе воде за производњу водоника. Очекује се да ће напредни реактори играти кључну улогу у будућем енергетском миксу, обезбеђујући стабилну производњу енергије уз смањење емисија и ефикасније коришћење горива.

**Кључне речи:** напредни нуклеарни реактори (III+ генерација), енергетска одрживост, нуклеарна сигурност, пасивни системи, будућност нуклеарне енергије.

# THE PRESENT AND FUTURE OF NUCLEAR ENERGY: ADVANCED REACTOR SYSTEMS

Đorđe Lazarević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-7258-2658**

**Abstract:** Advanced nuclear reactor systems (Generation III+), encompass characteristics relevant to the current reality, as well as their potential for future development. These are large power reactors (greater than 1000 MW) with fully mastered technologies that are successfully used worldwide and have nearly fully met the requirements set for future reactors (IV generation). These reactors offer numerous advantages over the existing Generation II reactors. For example, the possibility of core melt accidents in existing II generation nuclear power plants is on the order of $10^4$, while for III+ generation reactors, the possibility is between $10^7$ and $10^6$, depending on whether they use passive or active heat removal systems. The simpler and more robust design of these reactors makes them easier to operate and less vulnerable to operational issues, thereby increasing their efficiency and reliability. In addition, these reactors have reduced radionuclide release into the environment and allow for more efficient fuel use, resulting in smaller amounts of radioactive waste.

One of the key characteristics of Generation III+ reactors is that they are designed to withstand 72 hours in the event of a complete loss of electrical power, without the need for active operator intervention during this period. Some achieve this through technologies with active components (EPR and APR1400), others rely solely on passive components (AP1000), while others combine active and passive systems (VVER-1200 and Hualong One). Passive safety systems are based on natural phenomena, such as gravity, natural circulation, convection, and others, for the removal of residual heat, thereby reducing the need for complex electrical and mechanical components, which has contributed to increased safety and reduced risk in the event of a complete loss of power supply. In all, whether active, passive, or combined safety systems are used, it is necessary to replenish the water used for cooling after 72 hours, if external power supply has not yet been restored. This is achieved by activating backup systems, such as diesel generators for supplying power to water pumps or mobile vehicles with pumps to replenish the reservoirs, thereby ensuring significant redundancy.

Furthermore, the advantages of modular construction, which enables faster construction and cost reduction through standardized components, as exemplified by models such as AP1000, EPR, VVER-TOI, and other Generation III+ reactors, demonstrate how these reactor systems are expected to deliver increased efficiency, safety, and reduced construction time, contributing to the rational use of energy resources.

In the future, advanced nuclear reactors, in addition to enhanced safety and efficiency in energy production, are expected to contribute to the long-term sustainability of the energy sector through the mastery of fast neutron reactors, as well as minimizing radioactive waste that requires long-term management. Furthermore, innovations in the design of future reactors will enable higher thermodynamic efficiency and the use of process heat for applications such as high-temperature water electrolysis for hydrogen production. It is expected that advanced reactors will play a crucial role in the future energy mix, providing stable energy production while reducing emissions and enabling more efficient fuel use.

**Keywords:** advanced nuclear reactor systems (Generation III+), energy sustainability, nuclear safety, passive systems, future of nuclear energy.

**Биографија | Biography**

## Ђорђе Лазаревић (Djordje Lazarević)

Докторирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на студијској групи за нуклеарну, медицинску и еколошку технику. Тренутно ради у Центру за електроенергетске системе Електротехничког института Никола Тесла, на истраживачким и стратешким пословима развоја капацитета у области ниско-угљеничних технологија, укључујући системе засноване на нуклеарној енергији. Са више од 15 година професионалног искуства у области заштите од јонизујућих зрачења, тестирања ефеката јонизујућег зрачења и примене нуклеарних технологија, аутор и коаутор је више научних радова. Такође је учествовао у бројним студијским боравцима и пројектима Међународне агенције за атомску енергију (МААЕ). Обављао је функцију руководиоца Лабораторије за заштиту од зрачења и заштиту животне средине у Институту за нуклеарне науке Винча, као и руководиоца Одељења за декомисију нуклеарних објеката у Јавном предузећу Нуклеарни објекти Србије. Учествовао је у раду Интерресорне радне групе за израду Процене угрожености Републике Србије од елементарних непогода и других несрећа за нуклеарне и радиолошке акциденте, а био је и члан радне групе за пружање помоћи и подршке Мисији Републике Србије при ОЕБС-у и другим међународним организацијама у областима нуклеарне технологије и њихова примена, нуклеарна сигурност и безбедност. Као консултант Директората за радијациону и нуклеарну сигурност и безбедност Србије, такође обавља функцију националног координатора за неколико текућих МААЕ пројеката.

*Djordje Lazarević holds a PhD in electrical engineering from the School of Electrical Engineering, University of Belgrade. He currently works at the Electric Power Systems Department at the Nikola Tesla Institute, focusing on research and strategic capacity development in the field of low-carbon technologies, including systems based on nuclear energy. With over 15 years of professional experience in radiation protection, ionizing radiation testing, and nuclear technology applications, he has authored and co-authored numerous scientific papers and participated in a variety of study visits and projects of the International Atomic Energy Agency (IAEA). He led the Department of Radiation and Environmental Protection at the VINCA Institute of Nuclear Sciences, and the Department for Decommissioning of Nuclear Facilities at the Public Company Nuclear Facilities of Serbia. He was member of the Interdepartmental Working Group for the development of the risk assessment in Serbia for nuclear and radiological incidents, and part of the expert group that provided assistance and support to the Mission of the Republic of Serbia to the OSCE and other international organizations. As a consultant to the Serbian Radiation and Nuclear Safety and Security Directorate, he also serves as the national coordinator for several ongoing IAEA projects.*

***DOI*: 10.5937/TID25026M**

# БЕЖИЧНИ ПУЊАЧИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА ВОЗИЛА – ИЗАЗОВИ И РЕШЕЊА

Никола Мирковић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија

**Кратак садржај:** Начин за промоцију и брже распростирање употребе електричних возила (ЕВ) међу широм јавношћу јесте истицање погодности које она нуде. Бежични пренос енергије је атрактиван концепт који, када се примени на пуњење ЕВ-а, омогућава једноставан процес пуњења, док истовремено смањује потребну величину батерије, трошкове одржавања и хабање опреме. Међутим, технологија бежичног пуњења је сложена и суочава се са бројним изазовима који отежавају њену широку примену. Ова презентација има за циљ да пружи преглед технологије бежичног пуњења за ЕВа, дискутујући кључне изазове попут компензације спрегнутих калемова пуњача, топологије примењених претварача, стратегије управљања, двосмерног тока снаге и синхронизације претварача. Конвенционална решења ће бити укратко анализирана, док ће главни фокус бити на савременим приступима, посебно у областима високоефикасне и робусне компензације спрегнутих калемова, једноетапних пуњача и компактних трофазних пуњача намењених постизању високе густине преноса снаге. Биће представљене смернице за имплементацију, прототипи и експериментални подаци, обухватајући различите прототипове и широк спектар нивоа снаге, од 3,3 kW до 40 kW, уз ефикасност до 96,8%.

**Кључне речи:** електрична возила, бежично пуњење.

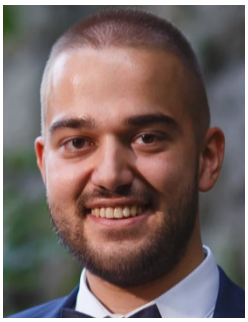
# WIRELESS CHARGERS FOR ELECTRIC VEHICLES – CHALLENGES AND SOLUTIONS

Nikola Mirković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

**Abstract:** A way to promote and accelerate the adoption of electric vehicles (EVs) among the general public is by highlighting the amenities they offer. Wireless power transfer is an attractive concept that, when applied to EV charging, enables a seamless charging process while reducing the required battery size, maintenance costs, and equipment wear. However, wireless charging technology is complex, and several challenges hinder its widespread adoption. This presentation aims to provide an overview of wireless charging technology for EVs, discussing key challenges such as inductive link compensation, converter topologies, control strategies, bidirectional power flow, and converter synchronization. Conventional solutions will be briefly analyzed, with the main focus on state-of-the-art approaches, particularly in the areas of highly efficient and robust inductive link compensation, single-stage chargers, and compact three-phase chargers designed for high power transfer densities. Implementation guidelines, prototypes, and experimental data will be presented, covering various prototypes and a wide range of power levels, from 3.3 kW to 40 kW, with efficiencies reaching up to 96.8%.

**Keywords:** electric vehicles, wireless charging.

**Биографија | Biography**



**Никола Мирковић (Nikola Mirković)** рођен је 1997. године у Београду. Основне и мастер студије завршио је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2020. и 2021. године, респективно као најбољи студент на одсеку за енергетику. Докторску тезу под насловом „High Power Bidirectional Wireless Electric Vehicle Chargers: Advanced Topology Solutions and Control Strategies" предао је у новембру 2024. године на Политехничком Универзитету у Мадриду и тренутно чека њену одбрану. Од јануара 2025. запослен је у Институту Никола Тесла.

*Nikola Mirković was born in Belgrade, Serbia, in 1997. He received the B.Sc. and M.Sc. degrees in electrical engineering from the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia, in 2020 and 2021, respectively. Between 2021 and 2024 he was a Member of Centro de Electrónica Industrial, Universidad Politécnica de Madrid (UPM). In November 2024, he submitted his doctoral thesis with title "High Power Bidirectional Wireless Electric Vehicle Chargers: Advanced Topology Solutions and Control Strategies" and currently is waiting for its defense. Since January 2025, he is employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering.*

***DOI*: 10.5937/TID25028P**

# PREDICTIVE MAINTENANCE OF HYDROPOWER EQUIPMENT USING AI AND MACHINE LEARNING

Ramon Perez, Elder Research, Inc., United States of America

**Abstract:** The Ægir Predictive Maintenance Solution is designed to enhance the reliability of hydropower generator equipment by leveraging advanced data analytics, machine learning, and sensor data processing. Developed by Elder Research, Inc. (USA) and Sira-Kvina kraftselskap (Norway), Ægir helps prevent costly failures in large industrial generators by predicting potential issues before they become critical.

## The Problem

Unexpected failures in hydropower generators can result in millions of dollars in lost revenue. The rise of new sensor technologies has provided power providers with vast amounts of data, but extracting actionable insights from this data remains a challenge. Additionally, high-quality failure data is scarce, making predictive maintenance difficult. The central challenge is how to combine human expertise with machine-driven analysis to anticipate and prevent equipment faults.

## The Ægir Solution

Ægir processes large amounts of sensor data, incorporates historical maintenance records, and integrates subject matter expertise with machine learning models. The solution identifies anomalous activity in hydropower generators and turbines, provides early warnings for potential failures, and continuously updates the condition grade of equipment. It creates cases for engineers to review, allowing maintenance teams to take timely corrective actions. Over time, the system refines its predictions by learning from expert feedback.

## Key Components of Ægir

1. Data Sources: Ægir ingests data from multiple sources, including:
   - SCADA systems for generator, turbine, and transformer sensor data.
   - Local control systems that provide indicator data for power cycle actions.
   - Protection system databases that contain high-resolution pressure and vibration sensor readings.
   - Turbine governor systems for additional fluid flow management readings.
   - CMMS maintenance ticketing systems, which store historical fault records and repair actions.
   - Visual inspection test results.

2. CBETT (Condition-Based Error Type Taxonomy):
   - A structured hierarchy that classifies equipment failures based on expert knowledge from Sira-Kvina, Norconsult, and IRIS Power.
   - Mapped to IEC/ISO 81346 standard RDS codes, ensuring a systematic approach to diagnosing and categorizing issues.

3. Machine Learning & Predictive Models:
   - Survival Models: Predict major generator and turbine faults up to 12 weeks in advance.
   - Deep Learning Models: Identify faults within a 4-week window with higher accuracy.
   - Anomaly Detection Models: Monitor startup sequences and sensor activity to flag unusual behavior.
   - Models are trained across all units and then refined for specific equipment, improving precision.
   - If multiple models agree on an anomaly, a case is generated for engineer review.

4. RADR (Risk Assessment Data Repository):
   - A case management system that allows engineers to review flagged issues, log actions, and investigate further using visual analysis tools.

Sira-Kvina's Role in the Project

Sira-Kvina, a Norwegian hydropower company, has been a key partner in implementing Ægir. Before using Ægir, the company relied on traditional monitoring and manual inspections, leading to reactive maintenance strategies. With Ægir, Sira-Kvina now benefits from a proactive approach, allowing them to detect issues early, schedule repairs when power prices are low, and minimize unplanned downtime.

By integrating Ægir, Sira-Kvina has improved its ability to prevent failures, optimize maintenance schedules, and reduce operational risks, making it a valuable case study for predictive maintenance in hydropower.

**Keywords:** AI, machine learning, predictive maintenance, condition monitoring.

**Biography**

**Ramon Perez** is the Director of AI Solutions at Elder Research, an AI/ML consultancy, where he builds AI enabled software products to solve challenging industrial problems. Ramon holds an engineering bachelor's degree from Georgia Tech and master's degrees from Georgetown and Harvard universities.

***DOI*: 10.5937/TID25030Z**

# ПРИМЕНЕ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ У ДИЈАГНОСТИЦИ СТАЊА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКЕ ОПРЕМЕ

Милета Жарковић, Електротехнички факултет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-5855-6595**

**Кратак садржај:** Услед убрзане дигитализације енергетског сектора, број података који се активно прати и меморише у електроенергетским системима из дана у дан расте. Утицај на те податке имају метеоролошки, хемијски, термички, механички и електромагнетни параметри. У будућности, експертима и инжињерима у електроенергетици биће потребни помоћни алати базирани на вештачкој интелигенцији. Ови алати ће им омогућити јаснији увид у све податке и олакшати доношење различитих планерских одлука. Предавање приказује могућност примене фази логике за искуствено формирање експертских система за дијагностику стања електроенергетске опреме. Алгоритми ненадгледаног машинског учења су примењени у сврху кластеризације података о електроенергетској опреми у циљу доношења оптималног плана одржавања опреме. Примена вештачких неуралних мрежа у циљу детекције убрзаног старења електроенергетске опреме је такође дискутована. Приказана је методологија примене аутоенкодерских неуралних мрежа у циљу откривања аномалија у електроенергетском систему. На бази оваквих резултата могуће је користити мапе ризика и прећи са периодичног одржавања (*Time Based Maintenance*) на предиктивно одржавање на основу стања (*Predictive Condition Based Maintenence*) електронергетске опреме. Представљена методологија омогућава инжињерима правилно и правовремено доношење одлука о одржавању у електроенергетском систему. Предавање указује да је суштинска предност примене вештачке интелигенције то што учи о зависности мониторинг параметара кључне електроенергетске опреме. Предавање приказује имплементацију поменутих метода кроз Центар за надзор и дијагностику (ЦНД) стања генератора и енергетских трансформатора као кључне електроенергетске опреме. ЦНД има за циљ да пружи подршку у планирању одржавања кључне електроенергетске опреме за производњу и испоруку електричне енергије у АД ЕПС и да обавља послове редовне дијагностике и процењивања стања. Примери примене указују да су постојеће базе података у електроенергетици „живе" базе знања из којих се могу у будућности доносити правовремени закључци и одлуке. Примена вештачке интелигенције у дијагностици стања електроенергетске орпеме доводи до повећања поузданости и сигурности снабдевања енергијом и подизања енергетске ефикасности.

**Кључне речи:** дијагностика стања, вештачка интелигенција, фази логика, аутоенкодери, предиктивно одржавање.

# POWER EQUIPMENT DIAGNOSTICS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mileta Žarković, University of Belgrade School of Electrical Engineering: Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-5855-6595**

**Abstract:** Due to the rapid digitalization of the energy sector, the amount of data actively monitored and stored in power systems is increasing daily. Various parameters, including meteorological, chemical, thermal, mechanical, and electromagnetic factors, influence this data. In the future, power system experts and engineers will require AI-based support tools that will provide them with a clearer insight into all available data and facilitate decision-making in various planning processes.

This lecture explores the application of fuzzy logic for the experiential formation of expert systems in diagnosing the condition of power equipment. Unsupervised machine learning algorithms are employed for clustering data related to power equipment to develop an optimal maintenance plan. The use of artificial neural

networks for detecting accelerated aging of power equipment is also discussed. Additionally, the lecture presents the methodology of using autoencoder neural networks to identify anomalies in power systems. Based on such results, risk maps can be utilized to transition from Time-Based Maintenance (TBM) to Predictive Condition- Based Maintenance (CBM) of power equipment. The proposed methodology enables engineers to make well-informed and timely maintenance decisions within the power system.

A key takeaway from the lecture is that the fundamental advantage of AI application lies in its ability to learn dependencies between monitoring parameters of critical power system equipment. The implementation of these methods is demonstrated through the Monitoring and Diagnostic Center (MDC) for assessing the condition of generators and power transformers, which are crucial components of the power system. The MDC aims to support maintenance planning for key power equipment in AD EPS and conduct regular diagnostics and condition assessments.

Practical examples indicate that existing power system databases serve as "living" knowledge bases, from which timely conclusions and decisions can be derived in the future. Ultimately, applying AI in diagnosing the condition of power equipment leads to increased reliability, security of energy supply, and improved energy efficiency.

**Keywords:** power equipment diagnostics, artificial intelligence, fuzzy logic, autoencoders, predictive maintenance.

**Биографија | Biography**

**Милета Жарковић (Mileta Žarković)**

Др Милета Жарковић је 2018. године докторирао на Универзитету у Београду – Електротехничком факултету на тему „Мониторинг и дијагностика разводног постројења на бази фази модела стања високонапонске опреме". Од 2011. године ради на Електротехничком факултету и ангажован је на бројним предметима на основним, мастер и докторским студијама. Од 2020. године предаје и на Војној академији Универзитета одбране. Тренутно ради као ванредни професор, продекан за сарадњу са привредом и руководилац Лабораторије за Високи напон на Катедри за Електроенергетске системе. Вишегодишњи је председник СТК Техничке перформансе ЕЕС-а С4 CIGRE Србија. Члан је организационих одбора више домаћих стручних конференција и међународне конференције IEEE PowerTech 2023. Учествовао је у изради великог броја студија и пројеката за операторе преносног и дистрибутивног оператора електроенергетског система. Милета је аутор великог броја радова у научним часописима међународног значаја са SCI листе и конференцијама на тему примене вештачке интелигенције у електроенергетици.

*PhD. Mileta Žarković earned his PhD in 2018 from the University of Belgrade – School of Electrical Engineering, with a dissertation titled "Monitoring and diagnostics of substation based on fuzzy model of high voltage equipment condition". Since 2011, he has been working at the School of Electrical Engineering, contributing to numerous courses at the bachelor, master's, and doctoral levels. Since 2020, he has also been teaching at the Military Academy of the University of Defense. He currently serves as an Associate Professor, Vice Dean for Industry Collaboration, and Head of the High Voltage Laboratory at the Department of Power Systems. He has been the long-standing President of the STK Technical Performance of Power Systems C4 CIGRE Serbia. Additionally, he is a member of the organizing committees for several national professional conferences and the international IEEE PowerTech 2023 conference. Mileta has participated in the development of numerous studies and projects for transmission and distribution system operators in the power sector. He is the author of a significant number of papers published in internationally recognized scientific journals from the SCI list and presented at conferences on the application of artificial intelligence in power engineering.*

***DOI*: 10.5937/TID25032B**

# МОДЕРНЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ, СЕРВИСИ И АПЛИКАЦИЈЕ: ОСНОВА СКАЛАБИЛНИХ *BIG DATA* ПРОЈЕКАТА И ДИГИТАЛНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ У ИСТРАЖИВАЊУ И ИНДУСТРИЈИ

Душан Бараћ, Факултет организационих наука у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-0517-2525**

**Кратак садржај:** У ери дигиталне трансформације, могућност ефикасног прикупљања, складиштења и анализе огромних количина података од суштинског је значаја како за академска истраживања, тако и за индустрију. Модерне инфраструктуре, сервиси и апликације представљају основу за скалабилне *big data* пројекте, омогућавајући организацијама да искористе податке за иновације и раст. Ово предавање истражује кључне технолошке компоненте и њихову улогу у подршци обради и анализи великих количина података.

Међутим, утицај *big data* решења надилази саму технологију—она подстичу организационе промене, усвајање нових радних процеса, међусекторску сарадњу и развој култура заснованих на подацима. Интеграција сервиса заснованих на вештачкој интелигенцији додатно унапређује аутоматизацију, аналитику и оперативну ефикасност, убрзавајући дигиталну трансформацију у различитим секторима. Кроз реалне примере, предавање ће приказати најбоље праксе за дизајнирање и имплементацију *big data* решења која су скалабилна, прилагодљива и усклађена са савременим захтевима дигиталног доба.

**Кључне речи:** дигитална трансформација, *big data*, ИТ инфраструктура, апликације, АИ сервиси.

# MODERN INFRASTRUCTURE, SERVICES, AND APPLICATIONS: DRIVING SCALABLE BIG DATA PROJECTS AND DIGITAL TRANSFORMATION IN RESEARCH AND INDUSTRY

Dušan Barać, Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade
**ORCID: 0000-0003-0517-2525**

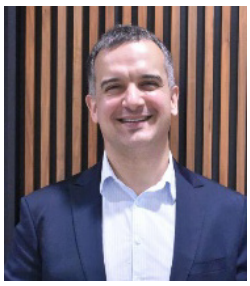
**Abstract:** In the age of digital transformation, the ability to efficiently collect, store, and analyze vast amounts of data is crucial for both academic research and industry. Modern infrastructure, services, and applications serve as the foundation for scalable big data projects, enabling organizations to harness data for innovation and growth. This lecture explores key technological components and their role in supporting large-scale data operations.

However, the impact of big data extends beyond technology—it drives organizational change, fostering new workflows, cross-functional collaboration, and data-driven decision-making cultures. The integration of AI-powered services further enhances automation, analytics, and operational efficiency, accelerating digital transformation across sectors. Through real-world examples from academia and industry, this session will highlight best practices for designing and deploying big data solutions that are scalable, adaptable, and aligned with the evolving demands of the digital era.

**Keywords:** digital transformation, big data, IT infrastructure, apps, AI-powered services.

**Биографија | Biography**

## Душан Бараћ (Dušan Barać)



Редовни професор на Универзитету у Београду, Факултет организационих наука, Србија – Продекан за сарадњу са привредом и иновације – Душан Бараћ је учествовао у бројним пројектима из области информационих технологија, укључујући *IT outsourcing* и развој ИТ решења, обављајући различите улоге – од пословног консултанта до софтверског инжењера. Има више од 17 година консултантског искуства у областима као што су ИТ пројекти, изградња *e-commerce* и е-пословних решења, дигитална трансформација, *CRM*, развој веб и мобилних апликација и сервиса, као и успостављање напредних *e-learning* система. Његова главна интересовања укључују дигиталну трансформацију, *e-commerce* екосистеме, веб и мобилни развој, управљање ИТ пројектима, системе за е-учење и дигиталне стартапе. Објавио је велики број научних радова, од којих је више од 25 у водећим међународним часописима са импакт фактором.

*Full Professor at the University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Serbia, Vice-dean for corporate affairs and innovations – Dusan Barać collaborated on numerous IT-related projects, both IT outsourcing and developing IT solutions, playing different roles from business consultant to software engineer. He has 17+ years of consultant experience in areas such as IT projects, building e-commerce and e-business solutions in general, digital transformation, CRM, web and mobile apps and services development, and establishing advanced e-learning systems. His main interests are digital transformation, e-commerce ecosystems, web and mobile development, IT project management, e-learning systems, and digital startups. He published numerous papers, where 25+ are in leading international journals with an impact factor.*

***DOI*: 10.5937/TID25034J**

# ОДРЖАВАЊЕ ХИДРОГЕНЕРАТОРА У СВЕТЛУ ЗАНИМЉИВИХ СЛУЧАЈЕВА ИЗ ПРАКСЕ

Ђорђе Јовановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0009-0009-3706-5151**
Ненад Карталовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-3810-342X**

**Кратак садржај:** У презентацији биће описана пракса електричних испитивања превентивне контроле ради процене погонског стања обртних машина (хидро и турбо генераторима односно ВН моторима), која је у примени Специјализоване лабораторије за изолационе системе, Лабораторије за испитивање и еталонирање Електротехничког института Никола Тесла, акредитоване по стандарду IEC/ISO17025. Ради се о електричним испитивањима у безнапонском стању – *off line* испитивања која се обављају на обртним машинама током ремонта у редовним временским интервалима која се обављају према важећим релевантним *IEC*/*SRPS* стандардима и техничким препорукама ЕПС.

Пракса редовних испитивања обртних машина у ЕПС датира од 70-их година XX века. Ова испитивања се обављају на обртним машинама (генераторима и ВН моторима) у систему ЕПС у редовним временским интервалима – *Time Based Condition Assessment* (TBCA) са циљем процене и праћења погонског стања, правовременог откривања евентуалних дефеката који би могли да изазову квар и испад током погона. Од 2008. године у ЕТИ Никола Тесла је форимарана база података у коју се уносе сви резултати теренских *off-line* испитивања, заједно са резултатима из старијих извештаја који су ручно унети. На тај начин су сви подаци систематизовани и створена је основа за унапређење и увођење алата за праћење трендова и оцењивање појединих погонских параметара електричног изолационог система (ЕИС) и намотаја статора односно ротора обртних машина, што је основ за постепени прелазак на одржавање по стању – *Condition Based Maintenance*. Биће дато и неколико карактеристичних примера из праксе испитивања хидрогенератора.

**Кључне речи:** одржавање по стању.

# HYDROGENERATOR MAINTENANCE – CASE STUDIES FROM PRACTICE

Đorđe Jovanović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0009-3706-5151**
Nenad Kartalović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-3810-342X**

**Abstract:** This presentation is dealing with preventive electrical testing for condition assessment of rotating machines (turbo- and hydro-generators, HV motors) which are regular practice of Specialized Laboratory for Insulation System Testing as a part of Laboratory for Testing and Calibration in the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, accredited according to ISO/IEC17025. These are off line electrical testing performed on generators and motors at standstill during yearly overhaul period according to valid relevant IEC/SRPS standards and technical recommendation of Electrical Power Company of Serbia (EPS).

Rotating machines in electrical power system of Serbia are in practice of regular preventive testing since 70s of 20$^{th}$ century. These electrical tests are performed on rotating machines, turbo and hydro-generator and HV motors installed in EPS in regular intervals – Time Based Condition Assessment (TBCA) with the aim of assessing and monitoring the service condition and timely detection of possible defects that could cause breakdowns and outages during operation. Since year 2008 special test data base is established in the Nikola

Tesla Institute. Since 2008, Nikola Tesla Institute has created a special database in which all the results of off-line field tests are stored as well as results of all older test report which was entered manually. In this way, all data was systematized and the basis was created for the improvement and introduction of tools for monitoring trends and evaluating individual operating parameters of the stator or rotor electrical insulation system (EIS) and windings of rotating machines, which is necessary for transition to Condition Based Maintenance. Several characteristic case studies from the practice of off-line testing hydrogen generators will also be given.

**Keywords:** Condition Based Maintenance.

**Биографије | Biographies**

**Ђорђе Јовановић (Đorđe Jovanović)**

Ђорђе Е. Јовановић је рођен 1966. године у Београду, где је завршио основну и средњу електротехничку школу „Никола Тесла”. Године 1995. дипломирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру Електроенергетски системи. Од 1996. године запослен у Центра за електромерења, Лабораторија за изолационе системе Електротехничког института Никола Тесла. Скоро 30 година ради на изучавању понашања течних и чврстих диелектрика, испитивања на терену у оквиру превентивне контроле електроенергетских објеката – обртних машина, енергетских и мерних трансформатора. Тренутно председник CIGRÉ Србија СТК А2 – Трансформатори и члан СТК А1 – Обртне машине. Као аутор и коаутор учествовао у изради више десетина стручних радова презентираних на домаћим и иностраним стручним скуповима.

*Đorđe E. Jovanović was born in 1966 in Belgrade, where he finished his primary and electro technical high school “Nikola Tesla”. In year 1995 graduated on the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Electrical Power Systems division. Since 1996 has been employed in the Laboratory for Insulation System testing, Electrical Measurements Department, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering. Almost 30 years of experinece in research of liquid and solid dielectric behaviour, preventive control field testing of electrical power objects – rotating machines, power transformers, HV instrument transformers. Currently chairman of CIGRÉ Serbia SC A2 – Power Transformers and member of SC A1 – Rotating machines. As author and co-author participated in the preparation of dozens of technical papers presented at domestic and foreign professional conferences.*

**Ненад Карталовић (Nenad Kartalović)**

Др Ненад Карталовић (1960), научни сарадник, Електротехнички Институт Никола Тесла, Универзитет у Београду. Област рада је истраживање и развој метода и уређаја. Објавио је преко 100 научних и стручних чланака (380/*h*=12). По академском образовању је инжењер техничке физике и електротехнике. Докторирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду (ЕТФ), Одсек за микроелектронику и техничку физику. Члан студијских комитета CIGRE Србија: А1 Ротационе електричне машине, А2 Енергетски трансформатори, А3 Опрема за пренос и дистрибуцију, Б1 Изоловани каблови, Д1 Материјали и нове технике испитивања. Председник Националне комисије за стандарде број 15 – Изолациони материјали. Члан Националне комисије за стандарде бр. 20 – Енергетски каблови. Професионално искуство: Током рада на Електротехничком факултету Универзитета у Београду (1988–2000), на Одсеку за микроелектронику и техничку физику, учествовао је у пројектима из области: енергетске ефикасности; електрични материјали, изолациони системи, електрични квар, заштита од пренапона. Током рада у Електротехничком Институту Никола Тесла (2003–), био је руководилац једног пројекта и руководилац пет подпројеката као и једног иновационог пројекта, које је Министарство финансирало у оквиру програма технолошког развоја. Био је вођа више од пет националних стручних студија које финансира индустрија. Руководио је израдом више од пет међународних стручних студија финансираних од стране међународних компанија.

*Nenad Kartalović, PhD, (1960), research associate, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade. The field of work is research and development of methods and devices. He published over 100 scientific and professional articles (380/h=12). Education: Academically, he is an engineer in technical physics and electrical engineering. Doctorate at the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade (ETF), Department of Microelectronics and Technical Physics. Membership in expert bodies: Member of SC CIGRE Serbia: A1 Rotating electrical machines, A2 Energy transformers, A3 Equipment for transmission and distribution, B1 Insulated cables, D1 Materials and new testing techniques. President of the National Commission for Standards number 15 – Insulation materials. Member of the National Commission for Standards no. 20 – Power cables. Professional experience: During his work at the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade (1988–2000), he participated in projects in the fields of: energy efficiency; electrical materials, insulation systems; electrical failure, surge protection. During his work at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering (2003–), he was the manager of one project and the manager of five sub-projects as well as one innovation project, which the Ministry financed as part of the technological development program.*

***DOI*: 10.5937/TID25037R**

# APPLICATION OF THE NONLINEAR KERNEL PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS IN DETECTING DISK TO-DISK FAULTS ALONG A TRANSFORMER WINDING

Ebrahim Rahimpour, THWS, Germany
**ORCID: 0000-0002-7493-2666**
Mohammed Bilal Ghorbal, University of Zanjan (ZNU), Iran
**ORCID: 0009-0005-5865-0078**
Hassan Reza Mirzaei, University of Zanjan (ZNU), Iran
**ORCID: 0000-0002-2498-314X**

**Abstract:** Transient overvoltages within a power grid may lead to electrical faults in power transformers. Moreover, short circuit currents passing through the transformer may cause mechanical deformations in its windings. Engineers typically use Frequency Response Analysis (FRA) to identify defect characteristics in transformers. The severity of defects varies based on the extent of the short circuit current and power flowing through the fault. Among electrical faults, disk-to-disk faults in the disk windings are particularly significant, as they can reduce transformer efficiency and increase repair costs. In this study, a nonlinear Kernel Principal Component Analysis Algorithm (KPCAA) is employed to estimate the location and severity of these faults. In the present work, a 1.2 MVA, 10 kV non-interleaved double-disk winding is used and subjected to various artificial faults. Firstly, the high-dimensional Transfer Functions (TF) of this winding are obtained using the Low Voltage Impulse (LVI) method under both healthy and faulty conditions. Next, the KPCAA is applied to the obtained TFs to extract significant features in a lower-dimensional space. Afterwards, the parameters of the selected kernel functions associated with KPCAA are adjusted to achieve optimal results. Finally, the advantages of the proposed technique in determining the characteristics of faults are presented.

**Keywords:** transformer fault detection, disk to disk fault, Kernel PCA, low voltage impulse (LVI) method, dimension reduction.

## Biographies

**Ebrahim Rahimpour** (SM'10) received a B.Sc. degree in electrical engineering from Tabriz University in 1993 and M.Sc. and Ph.D. degrees in electrical power engineering from the Faculty of Engineering of Tehran University, Tehran, Iran, in 1995 and 2002, respectively. He was an Associate Professor at the University of Zanjan, working on modeling and monitoring of electrical machines, especially transformers, from 2002 to 2007. He acquired a Georg Forster Research Fellowship of the Alexander von Humboldt Foundation (AvH) Scholarship in 2007 and performed some research involving the transfer function method at the Institute of Power Transmission and High Voltage Technology of Stuttgart University until 2008. He has had several positions, including Director of the Electrical Engineering Department at the University of Zanjan, Program Chairman of the 13th Iranian Conference on Electrical Engineering, the project leader of transformer transients, and responsible for Hitachi transient tools at Hitachi Energy, Transformers, Bad Honnef, Germany. Additionally, he is a member of CIGRE WG A2/C4.39, CIGRE WG A2/C4.52 and Convenor of CIGRE WG A2.63. Currently, he is a professor in the field of electric power systems and network components at the Technical University of Applied Sciences Würzburg-Schweinfurt.

**Mohammed Bilal Ghorbal** was born in Homs, Syria, in 1990, He received his B.Sc. degree in electrical engineering in 2014 from Al-Baath University, Homs, Syria, and his M.Sc. degree in 2021 from Sahand University of Technology, Tabriz, Iran. He is presently working toward a Ph.D. degree at Zanjan University. His main fields of research are high voltage, electrical insulation, and frequency response analysis.

**Hassan Reza Mirzaei** was born in Zanjan, Iran, in 1983. He received his B.Sc. degree in electrical engineering in 2005 from University of Zanjan, Zanjan, Iran, and M.Sc. and Ph.D. degrees in 2008 and 2013 from K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. He is currently an associate professor at the faculty of engineering, department of electrical engineering, University of Zanjan, Iran. He has worked also as a researcher at Iran-Transfo company HV test field and R&D institute. His research interests include high voltage tests and monitoring of the power transformers, partial discharge evaluation, and frequency response analysis.

***DOI*: 10.5937/TID25039G**

# МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ОЦЕНУ ИЗЛОЖЕНОСТИ РАДНИКА ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКОМ ПОЉУ ПРИЛИКОМ РАДОВА У БЛИЗИНИ НАПОНА НА ДВОСИСТЕМСКИМ ПРЕНОСНИМ НАДЗЕМНИМ ВОДОВИМА

Маја Грбић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-6668-6736**

**Кратак садржај:** Тренутна пракса извођења радова на одржавању преносних двосистемских надземних водова у Републици Србији захтева да, иако се радови обављају само на једном воду, у току рада оба вода морају бити ван погона. Оваква досадашња пракса у преносном систему Србије се мења да би се отворила могућност да се искључи само онај вод на коме се обављају радови (пасивни систем), како би други вод на истом стубу (активни систем) остао у погону. Пре давања одобрења за овакву радну процедуру, потребно је анализирати све потенцијалне ризике којима радници могу бити изложени и по потреби обезбедити адекватне мере заштите. Оваква пракса укључује и одређени ризик у вези са излагањем радника електричном и магнетском пољу, што захтева даљу анализу. Док се радови обављају на пасивном систему, радници су изложени електромагнетском пољу које емитује активни систем. Рад представља детаљну анализу ризика услед изложености радника електромагнетском пољу на примеру типичног двосистемског надземног вода. Анализа је заснована на резултатима добијеним мерењима јачине електричног поља и магнетске индукције. Мерењима јачине електричног поља и магнетске индукције добијају се вредности поља које одговарају временском периоду мерења. Пошто се напони надземног вода не мењају значајно, резултати јачине електричног поља добијени мерењем могу се директно користити за процену изложености радника. С друге стране, пошто су струје оптерећења надземног вода променљиве, резултате магнетске индукције добијене мерењем потребно је екстраполирати узимајући у обзир струје оптерећења активног система у периоду мерења, како би се дошло до закључка који узима у обзир најнеповољнији режим рада, који доводи до највиших нивоа изложености. Приликом анализе утицаја електричног и магнетског поља на раднике претпоставља се да се радник налази унутар радне зоне дефинисане поступком за извођење радова на двосистемским надземним водовима. Радна зона се дефинише као простор око проводника пасивног система до вертикалне осе надземног вода. Радови се могу обављати директно са стуба или из корпе, док максимално дозвољено растојање између стуба и места рада износи 30 m. Мерења јачине електричног поља и магнетске индукције се врше на мерним местима која се налазе унутар дефинисане радне зоне. У циљу спровођења мерења унутар радне зоне развијена је нова метода мерења. Добијене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције упоређене су са акционим вредностима прописаним важећим националним прописима и Директивом 2013/35/EU, на основу чега је донет закључак о усаглашености добијених резултата са наведеним прописима.

**Кључне речи:** јачина електичног поља, магнетска индукција, Директива 2013/35/EU, изложеност радника, двосистемски надземни вод.

# METHODOLOGY FOR THE ASSESSMENT OF EXPOSURE OF WORKERS TO ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS DURING MAINTENANCE WORK IN THE VICINITY OF HIGH VOLTAGE ON DOUBLE-CIRCUIT OVERHEAD POWER LINES

Maja Grbić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-6668-6736**

**Abstract:** Current practice for conducting works on maintenance of transmission double-circuit overhead power lines in the Republic of Serbia requires that, although the work is done on one line only, during work both lines have to be de-energized. This current practice in the Serbian transmission system is being changed in order to enable the possibility for de-energizing only the power line on which the work is done (passive system), so that the other power line on the same towers can stay in operation (active system). Before the approval for such a working practice is given, it is necessary to analyze all the potential risks to which the workers can be exposed and, if necessary, provide adequate protection measures. Such a practice includes a certain risk related to exposure of workers to electric and magnetic fields, which requires further analysis. While the work is being done on the passive system workers are exposed to electromagnetic field emitted by the active system. The paper presents a detailed analysis of the risk concerning the exposure of workers to electromagnetic field on the example of a typical double-circuit overhead power line. The analysis is based on results obtained by measurements of electric field strength and magnetic flux density. By measurements of electric field strength and magnetic flux density the field values corresponding to the time period of measurements are obtained. Since the power line voltages do not change significantly, results of electric field strength obtained by measurements can be directly used for the assessment of the workers' exposure. On the other hand, since the power line load currents are variable, the results of magnetic flux density obtained by measurements have to be extrapolated taking into account the active system load currents in the period of measurements, in order to come to the more general conclusion which has to take into consideration the most unfavorable working regime, leading to the highest exposure levels. When analyzing the impact of electric and magnetic fields on workers it is assumed that the worker stays inside the working area defined by the procedure for conducting work on double-circuit power lines. The working area is defined as the space around passive system conductors up to the power line vertical axis. The work can be done from the tower directly or from the elevated platform, while the maximum distance between the tower and the working point is 30 m. Measurements of electric field strength and magnetic flux density are carried out at the measurement points located inside defined working area. In order to carry out measurements inside the working area the new measurement method was developed. The obtained values of electric field strength and magnetic flux density are compared to the action levels prescribed by current national regulations and Directive 2013/35/EU, based on which the conclusion on compliance of the obtained results with the aforementioned regulations is given.

**Keywords:** electric field strength, magnetic flux density, Directive 2013/35/EU, exposure of workers, double-circuit overhead power line.

**Биографија | Biography**

## Маја Грбић (Maja Grbić)

Др Маја Грбић је рођена 1985. године у Београду. Основне, мастер и докторске академске студије завршила је 2010, 2012. и 2021. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2010. године запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, у Центру за електроенергетске објекте. Током досадашњег рада примарно се бавила истраживањима у области електромагнетских поља. Учествовала је у изради више од 50 студија, пројеката и елабората, 65 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, као и преко 1200 извештаја о испитивањима. Од 2018. године обавља функцију руководиоца акредитоване Лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Објавила је 88 радова у националним и међународним часописима и зборницима са конференција, од којих 62 као први аутор. Награђена је за најбоље радове приказане на конференцијама CIRED Србија (2012. и 2022. године) и CIGRE Србија (2019, 2021. и 2023. године). Добитница је награде Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад и награде Привредне коморе Србије за најбољу докторску дисертацију. Чланица је међународних удружења CIGRE и IEEE, као и српских националних комитета CIGRE и CIRED.

*Dr. Maja Grbić was born in Belgrade in 1985. She received a BSc, MSc and a PhD degree in 2010, 2012 and 2021, respectively, from School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2010 she has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, at the Power Facilities Department. Her primary field of interest has been research in the area of electromagnetic fields. She has participated in over 50 major projects and studies, 65 expert evaluation studies regarding influence of electromagnetic field sources on the environment, as well as in the preparation of over 1200 testing reports. In 2018 she has been appointed head of the accredited Laboratory for electromagnetic field testing. She has published 88 papers in national and international journals and conference proceedings, 62 of which as the main author. She was awarded for the best papers presented at CIRED Serbia (2012 and 2022) and CIGRE Serbia (2019, 2021 and 2023) conferences. She was awarded by the Belgrade Chamber of Commerce for the best master's dissertation and by the Serbian Chamber of Commerce for the best doctoral dissertation. She is a member of CIGRE and IEEE as well as Serbian national CIGRE and CIRED Committees.*

***DOI*: 10.5937/TID25042J**

# РАЗВОЈ ИНОВАТИВНИХ EMI SHIELDING МАТЕРИЈАЛА У ОКВИРУ ПРОЈЕКТА GRINSHIELD – НОВИ МАТЕРИЈАЛИ НА БАЗИ ГРАФЕНА

Светлана Јовановић, Институт за нуклеарне науке Винча, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-2062-7527**

**Кратак садржај:** Током последње деценије научно интересовање и потребе тржишта за новим материјалима способним да ефикасно блокирају нејонизујуће електромагнетно (ЕМ) зрачење значајно су порасли. Разлози су развој у сектору телекомуникација и електронике. Светско тржиште заштитних материјала захтева нове, лагане, флексибилне и издржљиве материјале. Истовремено, еколошки аспекти добијања материјала играју све значајнију улогу у процесу одабира материјала за ширу производњу. Предност се даје материјалима произведеним еколошки прихватљивим и одрживим поступком.

Због своје мале тежине, флексибилности, хемијске стабилности и електричних својстава, графен и његови деривати су погодни кандидати за будуће ЕМ заштитне материјале.

Пројекат GrInShield се бави развојем композита на бази графена који могу да блокирају просторање електромагнетних таласа ниских (150 kHz) до високих фреквенција (8-12 GHz). Ови материјали се развијају као заштита за електронске уређаје, посебно за осетљиве инструменте, али и развојем текстила намењених особама професионално изложеним нејонизујућем електромагнетном зрачењу.

*Захвалница*

*Истраживања описана у овом раду финансирана су од стране Европске уније, кроз Програм Horizon, у оквиру Coordination and Support Actions, бр. 101079151, акроним GrInShield. Такође, аутори се захваљују Министарству науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије (бр. 451-03-136/2025-03/200017).*

**Кључне речи:** графен, графен оксид, композити.

# INNOVATION IN EMI SHIELDING MATERIALS INTEGRATED IN GRINSHIELD PROJECT – TWINNING FOR NEW GRAPHENE BASED NANOMATERIALS

Svetlana Jovanović, Vinca Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-2062-7527**

**Abstract:** In the last decade, scientific interest in and industrial needs for new electromagnetic (EM) shielding materials have significantly increased due to technological developments in the telecommunication and electronic sectors. The world market for shielding materials demands new, lightweight, flexible, and durable shielding materials. At the same time, ecological aspects in the production process must be considered. Priority will be given to materials produced in an eco-friendly and sustainable manner.

Due to its light weight, flexibility, chemical stability, and electrical properties, graphene and its derivates are promising candidates for future EM shielding materials.

The GrInShield project is focused on developing graphene-based composites able to block the propagation of electromagnetic waves from low (150 kHz) to high frequencies (8–12 GHz). The purpose of these materials will be the protection of electronic devices and sensitive instruments from secondary EM waves and wearable protection by developing textiles for professional clothes.

Our research showed that graphene oxides in the form of free-standing films show very low EM shielding efficiency (~ 2 dB) while after chemical reduction, materials with the same thicknesses (13 ±0.32 μm) become more efficient (~ 6 dB). EM shielding efficiency was increased by including metal-based nanomaterials in graphene composites. Namely, adding 50 wt% silver nanowires (AgNWs) to graphene oxide free-standing films improved EM shielding efficiency to -12.1 dB, while 80 wt% of AgNWs led to -33.3 dB. When these materials were chemically reduced, the EM shielding effectiveness was - 24.17 dB and -35.6 dB.

Recently, as an answer to the high price of graphene and low production, new methods are developing for graphene-based nanomaterials production, where precursors are different biomasses. Precursor carbonization occurs during the process of heating in an oxygen-free atmosphere. These materials are known as biochar, and they were studied mainly as sorbents. GrInShield team produced biochars using fruit-processing biowastes. After mixing with the polymer sodium silicate resin, a flexible, 0.2 cm thin composite showed EM shielding effectiveness, blocking above 70% of the incident waves.

These results indicated the outstanding potential of biochars and graphene-metallic nanomaterials composites for their application in EM shielding.

*Acknowledgments*

*This research was supported by the European Union's Horizon Europe Coordination and Support Actions programme under grant agreement No 101079151 – GrInShield. Also, the authors are thankful to the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia (grant number 451-03-136/2025-03/ 200017).*

**Keywords:** graphene, graphene oxide, shielding, composites.

**Биографија | Biography**

**Светлана Јовановић (Svetlana Jovanović)**

Др Јовановић је дипломирала и одбранила мастер тезу на катедри за биохемију, на Природно-математичком факултету Универзитета у Новом Саду, Србија. Докторску тезу одбранила је 2011. године на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду, Србија. Она је руководилац пројекта „Twinning for new graphene-based composites in electromagnetic interference shielding" (https://grinshield.eu/ GrInShield No. 101079151, Call: HORIZON-WIDERA-2021-ACCESS-03, Type of action: HORIZON Coordination and Support Actions, Granting authority: European Research Executive Agency) (2022–2025). Пројекат се бави развојем нових композита на бази графена у заштити од електромагнетних зрачења, постављајући темеље будућих научних праваца развоја нових наноматеријала за заштиту од елекромагнетног зрачења. Била је вођа радног пакета пројекта финансираног од стране Фонда за науку Републике Србије „Are photoactive nanoparticles salvation for global infectional threat?" (PHOTOGUN4MICROBES) (2022–2025). Др Јовановић је објавила преко 50 радова у међународним рецензираним часописима и 13 поглавља у књигама на позив уредништва. Њена истраживачка интересовања су синтеза и модификација графена, графен оксида, угљеничних наноцеви, наночестице сребра и злата, примена наноматеријала на бази угљеника у фотодинамичкој терапији, фотоактивност графена и угљеничних квантних тачака, материјали за заштиту од нејонизујућег електромагнетног зрачењу и биоугљеви.

*Dr. Jovanović holds bachelor's and master's degrees in biochemistry from the Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Serbia. She defended her PhD thesis in 2011 at the Faculty of Physical Chemistry, University of Belgrade, Serbia. She is a PI and leader on work packages in the project "Twinning for new graphene-based composites in electromagnetic interference shielding" (https://grinshield.eu/ GrInShield No. 101079151, Call: HORIZON-WIDERA-2021-ACCESS-03, Type of action: HORIZON Coordination and Support Actions, Granting authority: European Research Executive Agency) (2022–2025). The project focuses on developing*

*new graphene-based composites in electromagnetic interference shielding, laying the foundations for a brighter future through new shielding nanomaterials for EMI protection. She was also the leader of WP1 in the project funded by the Science Fund of the Republic of Serbia "Are photoactive nanoparticles salvation for global infectional threat?" (PHOTOGUN4MICROBES) (2022–2025). Dr. Jovanović has published over 50 papers in the international journals and 13 invited book chapters. Her research interests include graphene, graphene oxide, carbon nanotube, silver and gold nanoparticles, the application of carbon-based nanomaterials in photodynamic therapy, graphene and carbon quantum dots photoactivity, electromagnetic interference shielding, and biochar.*

***DOI*: 10.5937/TID25045D**

# PRIMJENA TEHNIKA MAŠINSKOG UČENJA I EVOLUCIONIH ALGORITAMA ZA ODREĐIVANJE ELEKTRIČNOG I MAGNETNOG POLJA NADZEMNIH VODOVA

Adnan Mujezinović, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, Bosna i Hercegovina
**ORCID: 0000-0001-5438-1353**
Ajdin Alihodžić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, Bosna i Hercegovina
**ORCID: 0000-0003-0380-025X**

**Kratak sadržaj:** Primjena tehnika mašinskog učenja i evolucijskih algoritama omogućava efikasniju estimaciju intenziteta električnog polja i gustoće magnetskog toka u blizini nadzemnih vodova. Ove metode nude fleksibilnost u modeliranju, prilagodljivost različitim konfiguracijama vodova, smanjenje računarskih zahtjeva u poređenju s tradicionalnim tehnikama, kao i jednostavnost primjene za krajnjeg korisnika.

U prezentaciji će biti prikazan metod zasnovan na umjetnim neuronskim mrežama (ANN) koji omogućava estimaciju električnog polja i gustoće magnetskog toka koristeći geometrijske parametre nadzemnih vodova, kao i vrijednosti napona i struja. Pored toga, biće predstavljeni rezultati primjene slučajnih šuma za estimaciju gustoće magnetskog toka u blizini nadzemnih vodova. Ovi metodi se zasnivaju na algoritmu za generisanje konfiguracija nadzemnih vodova koji omogućava da se generišu adekvatni skupovi podataka za treniranje modela mašinskog učenja.

Također, bit će prezentiran metod za estimaciju gustoće magnetskog toka u blizini višesistemskih nadzemnih vodova. Ovaj metod kombinira rezultate za pojedinačne trofazne sisteme kako bi se dobila ukupna distribucija magnetskog polja u blizini višesistemskih nadzemnih vodova i nadzemnih vodova koji dijele zajedničke prenosne koridore. Nadalje, biće prikazan metod za estimaciju viših harmonika magnetskog toka u blizini nadzemnih vodova uzrokovanih izobličenjem valnih oblika struja.

Mogućnosti i benefiti primjene metaheurističkih algoritma za određivanje raspodjele gustoće magnetskog toka, primjenom parametarskih funkcija su također predmet ove prezentacije. Ovi algoritmi omogućavaju efikasnije podešavanje modela kako bi se postigla veća tačnost u estimaciji magnetskog toka u blizini nadzemnih vodova. Zaključno, prezentacija će pokazati kako primjena mašinskog učenja i evolucijskih algoritama omogućava preciznije, brže i skalabilnije rješenje za estimaciju električnog i magnetskog polja u blizini nadzemnih vodova.

**Ključne reči:** tehnike mašinskog učenja, evolucioni algoritmi, intenzitet električnog polja, gustoća magnetnog toka, nadzemne prijenosne linije.

# APPLICATION OF MACHINE LEARNING TECHNIQUES AND EVOLUTIONARY ALGORITHMS FOR OVERHEAD LINES ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD DETERMINATION

Adnan Mujezinović, Faculty of Electrical Engineering, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
**ORCID: 0000-0001-5438-1353**
Ajdin Alihodžić, Faculty of Electrical Engineering, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
**ORCID: 0000-0003-0380-025X**

**Abstract:** The application of machine learning techniques and evolutionary algorithms enables a more efficient estimation of the electric field intensity and magnetic flux density in the vicinity of overhead lines. These methods offer flexibility in modeling, adaptability to different line configurations, reduced computational requirements compared to traditional techniques, and ease of application for the end user.

The presentation will introduce a method based on artificial neural networks (ANN) that enables the estimation of the electric field and magnetic flux density using the geometric parameters of overhead transmission lines, as well as voltage and current values. Additionally, results will be presented on the application of random forests for estimating the magnetic flux density near overhead lines. These methods are based on an algorithm for generating overhead line configurations, which allows the creation of appropriate datasets for training machine learning models.

Furthermore, a method for estimating the magnetic flux density near multi-system overhead lines will be presented. This method combines the results for individual three-phase systems to obtain the total magnetic field distribution near multi-system overhead lines and overhead lines sharing common transmission corridors. Additionally, a method for estimating higher harmonics of the magnetic flux density near overhead lines, caused by current waveform distortions, will be shown. The capabilities and benefits of metaheuristic algorithms for determining the magnetic flux density distribution through the application of parametric functions will also be discussed in this presentation. These algorithms enable more efficient model tuning to achieve greater accuracy in the estimation of the magnetic flux density near overhead lines.

In conclusion, the presentation will demonstrate how the application of machine learning and evolutionary algorithms enables a more precise, faster, and scalable solution for estimating the electric and magnetic fields in the vicinity of overhead lines.

**Keywords:** machine learning techniques, evolutionary algorithms, electric field intensity, magnetic flux density, overhead transmission lines.

**Biografije | Biographies**

### Adnan Mujezinović

Adnan Mujezinović je magistrirao i doktorirao na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu, Bosna i Hercegovina, 2011. i 2017. godine, respektivno. Od 2012. godine zaposlen je na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Sarajevu kao asistent, a trenutno je vanredni profesor. Autor je brojnih radova objavljenih na konferencijama i u naučnim časopisima. Njegova istraživačka interesovanja uključuju numeričke proračune elektromagnetnih polja, katodnu zaštitu i prijenosne vodove.

*Adnan Mujezinović received the M.Sc. and Ph.D. degrees in electrical engineering from the Faculty of Electrical Engineering, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, in 2011 and 2017, respectively. Since 2012, he has been with the Faculty of Electrical Engineering as a Teaching Assistant and currently an Associate Professor. He has authored numerous conferences and journal articles. His research interests include numerical calculations of electromagnetic fields, cathodic protection, and transmission lines.*

### Ajdin Alihodžić

Ajdin Alihodžić je završio osnovni, master i doktorski studij na Univerzitetu u Sarajevu – Elektrotehničkom fakultetu, na Odsjeku za elektroenergetiku, 2015, 2017. i 2024. godine, respektivno. Od 2017. do 2020. godine bio je zaposlen na poziciji stručnog saradnika u Izvršnoj direkciji za investicije Dioničkog društva BH Telecom Sarajevo. Od 2020. godine zaposlen je na Univerzitetu u Sarajevu – Elektrotehničkom fakultetu kao asistent, a trenutno je izabran u zvanje višeg asistenta. Njegovi istraživački interesi uključuju primjene numeričkih tehnika i umjetne inteligencije u elektroenergetici. Član je IEEE, CIGRE Paris i Nacionalnog komiteta CIGRE Bosne i Hercegovine. Član je Uredničkog odbora časopisa B&H Electrical Engineering.

*Ajdin Alihodžić received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees from the Department for Electric Power Engineering, University of Sarajevo – Faculty of Electrical Engineering, in 2015, 2017, and 2024, respectively. From 2017 to 2020, he was employed in the Executive Directorate for Investments, Joint Stock Company BH Telecom Sarajevo, as an Investment Associate Engineer. Since 2020, he has been with the University of Sarajevo as a Teaching Assistant, and currently Senior Teaching Assistant. His research interests include applications of numerical techniques and artificial intelligence in power engineering. He is a member of IEEE, CIGRE Paris, and the national committee of CIGRE Bosnia and Herzegovina. He is a member of the Editorial Board of the journal B&H Electrical Engineering.*

***DOI*: 10.5937/TID25048D**

# ЕСТИМАЦИЈА МАКСИМАЛНОГ ЈЕДНОВРЕМЕНОГ ОПТЕРЕЋЕЊА НА ОСНОВУ МЕРЕНИХ ПОДАТАКА

Милица Дилпарић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-5668-8367**
Сара Стаматовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0009-0007-0517-8026**
Бранка Ковачевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-3521-790X**
Срђан Рикић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија

**Кратак садржај:** У раду је приказан начин прорачуна максималне једновремене снаге прикључка на основу мерених података. На приказаној методологији израђен је прототип софтверског алата који може да уважи различите специфичности конзума (постојање купаца-произвођача, топлотних пумпи, пунионица, начин грејања, тип насеља, сезонске дијаграме потрошње и сл.) . На основу прорачунате снаге софтвер предлаже тип прикључног вода. На основу тога софтвер даје и друге изведене а потребне електричне величине (губитке и падове напона) за задату дужину прикључног вода. Као додатак у функционалности софтвер може прорачунавати и максималну једновремену снагу извода или трафостанице.

**Кључне речи:** максимална једновремена снага прикључка, софтвер, конзум.

# ESTIMATION OF THE MAXIMUM SIMULTANEOUS LOAD BASED ON THE MEASURED DATA

Milica Dilparić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-5668-8367**
Sara Stamatović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0007-0517-8026**
Branka Kovačević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-3521-790X**
Srđan Rikić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

**Abstract:** The paper presents the method for calculating the maximum simultaneous power of a connection based on measured data. A prototype software tool has been developed based on the presented methodology, which can take into account various consumption specifics (such as the presence of prosumers, heat pumps, charging stations, heating methods, settlement types, seasonal consumption diagrams, etc.). Based on the calculated power, the software suggests the type of connection line. Additionally, the software provides other derived electrical quantities (such as losses and voltage droops) for the given length of the connection line. As an added functionality, the software can also calculate the maximum simultaneous power of a feeder or transformer station.

**Keywords:** maximum simultaneous power, software, consumption.

**Биографије | Biographies**

## Милица Дилпарић (Milica Dilparić)

Рођена 13. јуна 1988. године у Ужицу. Основно и средње образовање завршила у Новој Вароши као носилац Вукове дипломе. Дипломирала 2012. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Електроенергетски системи, где је завршила и мастер студије. Докторске студије започела 2012. године на одсеку за електроенергетске мреже и системе. Запослена у Институту Никола Тесла од 2014. године у Центру за електроенергетске системе. Ангажована на бројним стручним и истраживачким пројектима у области планирања и развоја дистрибутивних мрежа, повећања енергетске ефикасности и стратешке енергетике. Посебно усмерена на системске анализе динамичког одзива и стабилности електроенергетског система, као и студије интеграције обновљивих извора енергије у дистрибутивну и преносну мрежу. Поседује напредно знање рада у MS Office, AutoCAD и Matlab, као и у специјализованим алатима за електроенергетске анализе: Токови Снага, PSS Sincal, PSSE Siemens, Digsilent Power Factory, Antares. Аутор и коаутор око 15 радова представљених на домаћим и међународним стручним конференцијама.

*Born on June 13, 1988, in Užice. Completed primary and secondary education in Nova Varoš with honors. Graduated in 2012 from the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Department of Power Systems, where she also completed her master's studies (2011–2012). Enrolled in PhD studies in 2012 at the Department of Power Grids and Systems. Employed at the Nikola Tesla Institute since 2014 in the Electric Power Systems Department. Over ten years of experience, she has participated in numerous studies focused on distribution network planning, energy efficiency improvements, and strategic energy development. Specialized in system analyses related to dynamic responses and stability, as well as studies on the integration of renewable energy sources and connection conditions in both distribution and transmission networks. Proficient in MS Office, AutoCAD, and Matlab, with extensive experience in specialized power system analysis tools, including Tokovi Snaga (developed at the Nikola Tesla Institute), PSS Sincal, PSSE Siemens, Digsilent Power Factory, and Antares. Author and co-author of approximately 15 papers presented at national and international professional conferences.*

## Сара Стаматовић (Sara Stamatović)

Сара Стаматовић, маст. ел. инж, завршила је Електротехнички факултет у Београду, модул Енергетика. На мастер студијама била је на смеру за обновљиве изворе енергије, и мастер рад одбранила је 2023. године. Поред електротехнике, уписала је и мастер студије на Математичком факултету у Београду, на смеру Астрофизика. Од 2023. године запослена је као сарадник у Институту Никола Тесла, где ради у Центру за електроенергетске системе. Бави се моделовањем елемената електроенергетских система у софтверима као што су DIgSILENT и PSS E, прорачунима токова снага и кратких спојева.

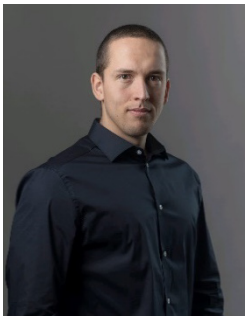
*Sara Stamatović, MSc. El. Eng, graduated from the School of Electrical Engineering in Belgrade, Power Engineering module. In her master's studies, she majored in renewable energy sources, and defended her master's thesis in 2023. In addition to electrical engineering, she also enrolled in master's studies at the Faculty of Mathematics in Belgrade, Astrophysics module. In 2023 she started her job as an Associate at the Nikola Tesla Institute, where she works in the Electric Power Systems Department. Her professional activity has been focused on the modeling of power system elements in software applications such as DIgSILENT and PSS E, load flow and short circuit analyzes.*

### Бранка Ковачевић (Branka Kovačević)

Бранка Ковачевић, рођ. Костић, је рођена 1981. године, у Београду, где је завршила основну школу и Пету београдску гимназију. Након гимназије, 1999. године је уписала Електротехнички факултет Универзитета у Београду, смер Енергетика. На предлог и иницијативу професора са катедре за електромоторне погоне, на петој години одлази на стручну праксу у иностранство, као једини студент са енергетског смера. У току праксе на *University of Strathclyde* у Глазгову, Велика Британија, учествовала је на пројекту *Construction and Analysis of a Corona Discharge Demonstrator*. 2008. године долази у Институт Никола Тесла у Центар за електроенергетске системе. Тренутно је у звању виши стручни сарадник, а за претходних 17 година учествовала је у изради преко 50 студија и елабората, за домаће и страно тржиште. Учествовала је и на два HORIZON2020 пројекта у периоду 2016–2021. год, а тренутно ради на пројекту из ЕУ програма LIFE2021. Поред тога, учествује и у изради стратешких докумената, из области енергетике, за потребе Министарства рударства и енергетике. Члан међународне CIGRE постала је 2013. године, када је била део радне групе која се бавила квалитетом електричне енергије из соларних извора енергије.

*Branka Kovačević, born Kostić, was born in 1981 in Belgrade, where she graduated from elementary school and the Fifth Belgrade High School. In 1999 she entered the School of Electrical Engineering at the University of Belgrade, Department of Power Engineering. In the fifth year she went on a professional internship abroad, as the only student from the Department of Power Engineering. During the internship at the University of Strathclyde in Glasgow, Great Britain, she participated in the Construction and Analysis of a Corona Discharge Demonstrator project. In 2008 she joined the Electric Power Systems Department in the Nikola Tesla Institute. Currently, she holds the title of senior technical associate, and for the past 17 years, she has participated in the creation of over 50 studies and reports for the domestic and foreign markets. She also participated in two HORIZON2020 projects in the period 2016–2021, and is currently involved in EU LIFE2021 project. In addition, she participates in the drafting of national strategic energy documents. She became a member of the international CIGRE in 2013, when she was part of a working group engaged in power quality of solar PV systems.*

### Срђан Рикић (Srđan Rikić)



Срђан Рикић, дипл. инж. електротехнике и рачунарства, завршио је Факултет техничких наука у Новом Саду, модул Примењено софтверско инжењерство. Тренутно је на мастер студијама на смеру Примењено софтверско инжењерство. Од 2023. године запослен је као сарадник у Институту Никола Тесла, где ради у Центру за електроенергетске системе. Бави се моделовањем елемената ЕЕС-а, анализама токова снага, студијама дугорочног развоја и планирања електроенергетских система, техно-економским анализама за оптимизацију рада система, прогнозом потрошње електричне енергије, као и израдама софтвера.

*Srđan Rikić, B.Sc. in Electrical and Computer Engineering, graduated from the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, specializing in Power Software Engineering. He is currently pursuing a master's degree in Power Software Engineering. Since 2023, he has been employed as an associate at the Nikola Tesla Institute, working in the Electric Power Systems Department. His work focuses on modeling of power system components, load flow analysis, long-term development and planning studies of power systems, techno-economic analyses for system optimization, consumption forecasting, and software development.*

***DOI*: 10.5937/TID25051C**

# ИСПИТИВАЊЕ ИЗОЛАЦИЈЕ СТАТОРСКИХ ПАКЕТА ЛИМОВА ГЕНЕРАТОРА ВЕЛИКИХ СНАГА МЕТОДОМ МАГНЕТИЗАЦИЈЕ НАЗНЕЧЕНОМ ИНДУКЦИЈОМ

Љубиша Чичкарић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID**: **0009-0001-1730-3898**

**Кратак садржај:** Елементи генератора су у току рада изложени врло сложеним напрезањима услед дејстава вибрација и електричног и магнетног поља. Све то узрокује старење и деградацију изолационог система статора. Оштећена изолација може створити услове за генерисање већих вртложних струја и појаву локалних топлих места, која се временом постепено шире.

Због тога је од суштинског значаја редовна провера стања изолације статорских лимова како би се избегле могуће последице у виду прегоревања пакета лимова статорских језгара или оштећења изолације штапних проводника, што може довести до појаве земљоспоја и даље до непланираног испада генератора.

Метода испитивања стања изолације магнетизацијом статорског језгра се користи за откривање могућих локалних оштећења изолације, што може резултирати локалним топлим местима, која могу настати између неколико лимова језгра током магнетизације. Праћењем радних параметара тешко је детектовати локална топла места на језгру статора.

Генерално, за процену стања изолације језгра статора користе се три методе мерења:
- Испитивање магнетизацијом ниске индукције (EL-CID),
- Испитивање магнетизацијом 50 (60) Hz назначене индукције и
- Испитивање магнетизацијом 500 Hz.

Ове методе испитивања постале су саставни део испитивања генератора током изградње, ремонта и интервенција са делимично или потпуно уклоњеним ротором.

**Кључне речи:** магнетно језгро, статорски лимови, вртложне струје, међуламинарни напон, врућа тачка.

# STATOR CORE IMPERFECTION DETECTION ON LARGE GENERATORS USING RING FLUX TEST METHOD

Ljubiša Čičkarić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID**: **0009-0001-1730-3898**

**Abstract:** A high voltage rotating machinery is subjected to high electrical, mechanical, thermal and environmental stresses over the course of their service life. All that cause aging and degradation of the stator insulation system. A damaged insulation can cause the formation of larger eddy currents and local hot spots, which gradually spread-out during time. Therefore, it is essential to regularly check the insulation integrity to avoid possible consequential damage such as core burning or damage of the bar insulation, which can result in a stator ground fault leading to an unscheduled downtime. It is hard to detect local hot spots of a stator cores by monitoring of working parameters.

The flux test is used to check the condition of the stator core insulation and thus to detect possible local insulation damage, which can result in local hot spots between several sheets of the core during magnetization.

For assessing the condition of stator cores, three measurement methods are used:
- Electromagnetic core imperfection detection (EL-CID),
- 50 (60) Hz rated flux test and
- 500 Hz ring flux test.

These testing methods became an integral part of generator investigations during the building, overhauls and interventions with partially or completely removed rotor.

**Keywords:** magnetic core, stator laminations, eddy currents, inter-laminar voltage, hot spot.

**Биографија | Biography**

**Љубиша Чичкарић (Ljubiša Čičkarić)**

Мр Љубиша Чичкарић је дипломирао на енергетском одсеку Електротехничког факултета Универзитета у Београду 1986. године, где је стекао и диплому Магистра електротехничких наука на смеру „Електроенергетска постројења и опрема" 2010. године. Од 1987. године је запослен у Електротехничком институту Никола Тесла у Београду, где тренутно ради у звању стручног саветника. Радио је на развоју и имплементацији термографских метода испитивања опреме у електро-постројењима различитих напонских нивоа. Од 2015. године ради као руководилац Специјализоване лабораторије за испитивања електроопреме, материјала, заштитних средстава и безбедности, у оквиру акредитоване лабораторије Института Никола Тесла у Београду. Поседује искуство у пружању консултанстких и услуга супервизије, контроле квалитета и испитивања електронергетске опреме различитих напонских нивоа. Радио је, за потребе електропривреде, на изради студија, техничких препорука и интерних стандарда за испитивања и контроле енергетских трансформатора, обртних електричних машина, енергетских каблова и друге електроенергетске опреме. Активан је члан у CIGRE Србија у више студијских комитета. Аутор је бројних радова на међународним и домаћим стручним конференцијама, у монографијама и часописима.

*MSc Ljubiša Čičkarić graduated from the Faculty of Electrical Engineering at the University of Belgrade in 1986, where he also obtained a Master of Electrical Engineering degree in "Electric Power Plants and Equipment" in 2010. Since 1987, he has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering in Belgrade, where he currently works as an expert advisor. He worked on the development and implementation of thermographic methods of testing equipment in electrical installations of various voltage levels. Since 2015, he has been working as the head of a Specialized laboratory for testing electrical equipment, materials, protective equipment and safety, within the accredited laboratory of the Nikola Tesla Institute in Belgrade. He has experience in providing consultancy and supervision services, quality control and testing of power equipment of various voltage levels. He worked, for the needs of the electrical power industry, on the studies, technical recommendations and internal standards for the testing and control of power transformers, rotating electrical machines, power cables and other power equipment. He is an active member of CIGRE Serbia in several study committees. He is the author of numerous papers at international and domestic professional conferences, in monographs and magazines.*

***DOI*: 10.5937/TID25053G**

# АНАЛИЗА НИВОА ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКОГ ПОЉА У ОКОЛИНИ СТУБА МЕШОВИТОГ ПРЕНОСНОГ ВОДА НА МЕСТУ ПРЕЛАСКА ИЗ НАДЗЕМНЕ ДЕОНИЦЕ У КАБЛОВСКУ

Маја Грбић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-6668-6736**
Дејан Хрвић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-4192-6833**
Катарина Максић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0009-0009-8266-0638**
Драгана Томашевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија

**Кратак садржај:** У раду су анализирани нивои електромагнетског поља у околини стуба мешовитог вода напонског нивоа 110 kV, на месту преласка из надземне у кабловску деоницу. Циљ истраживања је квантификација електромагнетског поља у непосредној близини овог стуба и упоређивање са нивоима поља на надземној и кабловској деоници вода. Истраживање обухвата два комплементарна приступа – теренска мерења и нумеричко моделовање. Мерења електромагнетског поља су спроведена у реалним условима, у околини поменутог стуба, коришћењем одговарајуће мерне опреме. Поред мерења, врши се и прорачун електромагнетског поља коришћењем специјализованог софтвера за рачунарску симулацију. Модел обухвата све релевантне параметре вода, укључујући геометрију проводника, њихову висину изнад тла и електричне карактеристике вода. Симулације ће пружити детаљан увид у расподелу електромагнетског поља у простору и омогућити поређење са експериментално добијеним резултатима. Добијени резултати пружиће увид у разлике између нивоа електромагнетског поља у околини стуба у поређењу са нивоима на надземној и кабловској деоници вода. Добијени резултати су анализирани у контексту важећих прописа из области заштите становништва од нејонизујућег зрачења. Поред анализе нивоа електромагнетског поља, у раду је дат и предлог мера за смањење нивоа поља у околини оваквих стубова и истакнут је значај правилног планирања и пројектовања водова, како би се минимизирали негативни утицаји електромагнетског поља на околину. Закључци рада пружају конкретне информације о карактеристикама електромагнетског поља у специфичним условима преласка из надземног у кабловски вод и доприносе даљим истраживањима и развоју метода за смањење електромагнетског зрачења у близини електроенергетских водова.

**Кључне речи:** електромагнетско поље, нејонизујуће зрачење, јачина електричног поља, магнетска индукција, мешовити вод, преносни вод.

# ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELD LEVELS IN THE VICINITY OF THE MIXED TRANSMISSION POWER LINE TOWER AT THE LOCATION OF TRANSITION FROM OVERHEAD TO CABLE SECTION

Maja Grbić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-6668-6736**
Dejan Hrvić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-4192-6833**
Katarina Maksić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0009-8266-0638**
Dragana Tomašević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

**Abstract:** The paper analyzes the levels of electromagnetic field in the vicinity of a 110 kV mixed transmission line tower, at the transition point between the overhead and underground sections. The aim of the research is to quantify the electromagnetic field levels near this tower and to compare them with the field levels on the

overhead and underground cable sections of the line. The research encompasses two complementary approaches – field measurements and numerical modeling. The measurements of electromagnetic field were conducted under real conditions in the vicinity of the aforementioned tower, using appropriate measuring equipment. In addition to measurements, electromagnetic field calculations are performed using specialized software. The model includes all relevant parameters of the transmission line, including conductor geometry and heights above the ground and electrical characteristics of the line. Simulations will provide a detailed insight into the spatial distribution of the electromagnetic field and enable comparisons with experimentally obtained results. The obtained results will provide an understanding of the differences in electromagnetic field levels around the tower compared to the levels on the overhead and underground cable sections of the transmission line. These results will be analyzed in the context of current regulations regarding the protection of the general public from non-ionizing radiation. Besides analyzing electromagnetic field levels, the paper also proposes measures to reduce the field levels around such towers and emphasizes the importance of proper planning and design of transmission lines to minimize the negative impacts of the electromagnetic field on the environment. The conclusions of the paper provide specific information on the characteristics of the electromagnetic field in the particular conditions of transition from an overhead to an underground cable transmission line. They contribute to further research and the development of methods for reducing electromagnetic radiation near power transmission lines.

**Keywords:** electromagnetic field, non-ionizing radiation, electric field strength, magnetic flux density, mixed power line, transmission power line.

**Биографије | Biographies**

**Маја Грбић (Maja Grbić)**

Др Маја Грбић је рођена 1985. године у Београду. Основне, мастер и докторске академске студије завршила је 2010, 2012. и 2021. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2010. године запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, у Центру за електроенергетске објекте. Током досадашњег рада примарно се бавила истраживањима у области електромагнетских поља. Учествовала је у изради више од 50 студија, пројеката и елабората, 65 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, као и преко 1200 извештаја о испитивањима. Од 2018. године обавља функцију руководиоца акредитоване Лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Објавила је 88 радова у националним и међународним часописима и зборницима са конференција, од којих 62 као први аутор. Награђена је за најбоље радове приказане на конференцијама CIRED Србија (2012. и 2022. године) и CIGRE Србија (2019, 2021. и 2023. године). Добитница је награде Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад и награде Привредне коморе Србије за најбољу докторску дисертацију. Чланица је међународних удружења CIGRE и IEEE, као и српских националних комитета CIGRE и CIRED.

*Dr. Maja Grbić was born in Belgrade in 1985. She received a BSc, MSc and a PhD degree in 2010, 2012 and 2021, respectively, from School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2010 she has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, at the Power Facilities Department. Her primary field of interest has been research in the area of electromagnetic fields. She has participated in over 50 major projects and studies, 65 expert evaluation studies regarding influence of electromagnetic field sources on the environment, as well as in the preparation of over 1200 testing reports. In 2018 she has been appointed head of the accredited Laboratory for electromagnetic field testing. She has published 88 papers in national and international journals and conference proceedings, 62 of which as the main author. She was awarded for the best papers presented at CIRED Serbia (2012 and 2022) and CIGRE Serbia (2019, 2021 and 2023) conferences. She was awarded by the Belgrade Chamber of Commerce for the best master's dissertation and by the Serbian Chamber of Commerce for the best doctoral dissertation. She is a member of CIGRE and IEEE as well as Serbian national CIGRE and CIRED Committees.*

### Дејан Хрвић (Dejan Hrvić)

Дејан Хрвић је рођен у Београду 1961. године. Електротехнички факултет у Београду – енергетски одсек уписао је 1981. године. Дипломирао је у октобру 1986. године. Стално је запослен у Институту Никола Тесла од 1987. године. Распоређен је на радно место стручног саветника. Од 2005. године, тежиште рада му је усмерено на испитивања нивоа нејонизујућих зрачења ниских и високих фреквенција, како за област заштите животне средине, тако и за област заштите на раду. На наведеним пословима учествује као руководилац и као сарадник. Коаутор је и две монографије националног значаја и три интерна стандарда (два за ЕМС и један за ЕПС). Члан је Српског националног комитета CIGRE и Скупштине CIGRE (индивидуално чланство), Студијског комитета Ц4 Техничке перформансе ЕЕС-а и Студијског комитет Ц3 Перформансе система заштите животне средине.

*Dejan Hrvić was born in Belgrade in 1961. He enrolled at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, Department of Power Engineering, in 1981, and graduated in October 1986. Since 1987, he has been continuously employed at the Nikola Tesla Institute, where he currently holds the position of Senior Advisor. Since 2005, his professional focus has shifted to the testing of non-ionizing radiation levels in both low and high-frequency ranges, addressing requirements in the fields of environmental protection and occupational safety. He actively participates in these projects both as a project manager and as a key contributor. He is also the co-author of two nationally significant monographs and three internal standards (two for Serbian Transmission System Operator – EMS and one for Electric Power Industry of Serbia – EPS). Mr. Hrvić is an active member of several professional organizations, including Serbian National CIGRE Committee and the CIGRE Assembly (individual member), Study Committee C4 Power System Technical Performance and Study Committee C3 Power System Sustainability and Environmental Performance.*

### Катарина Максић (Katarina Maksić)

Катарина Максић је рођена 1995. године. Дипломирала је 2019. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, где је 2022. године завршила и мастер студије. Од 2023. године похађа докторске студије на истом факултету, настављајући усавршавање у области енергетике. Исте године запослила се у Електротехничком институту Никола Тесла у Београду, у Центру за електроенергетске објекте, где тренутно ради као сарадник. Њен рад је усмерен на испитивање електромагнетских поља, као и на технику високог напона и координацију изолације.

*Katarina Maksić was born in 1995. She graduated in 2019 from the School of Electrical Engineering at the University of Belgrade. In 2022, she completed her master's studies in the same field. Since 2023, she has been pursuing doctoral studies at the same faculty, further advancing her expertise in energy systems. In the same year, she joined the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering in Belgrade, where she currently works as an associate at the Power Facilities Department. Her work focuses on electromagnetic field testing, as well as high-voltage engineering and insulation coordination.*

### Драгана Томашевић (Dragana Tomašević)

Драгана Томашевић је рођена 1998. године у Сремској Митровици. Основне и мастер академске студије, завршила је 2022. и 2023. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2023. године, запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, у Центру за електроенергетске објекте. Током досадашњег рада, примарно се бавила испитивањима на терену и израдом извештаја у области електромагнетских поља.

*Dragana Tomašević was born in 1998 in Sremska Mitrovica. She received a BSc and MSc degree in 2022 and 2023, respectively, from School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2023, she has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, at the Power Facilities Department. Throughout her career, she has primarily been engaged in field testing and the preparation of reports in the area of electromagnetic fields.*

***DOI*: 10.5937/TID25057L**

# 3PINT ИНОВАТИВНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ КАО ТРАЈНО РЕШЕЊЕ ЗА УКЛАЊАЊЕ КОРОЗИВНОГ СУМПОРА У ЕНЕРГЕТСКИМ ТРАНСФОРМАТОРИМА

Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0009-0005-0158-5172**
Драгиња Михајловић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-8515-855X**
Јелена Јанковић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-5820-5736**
Валентина Васовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-5789-4867**
Владимир Иванчевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-0346-0120**
Дејан Коларски, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-8723-7788**
Неда Ковачевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0009-0007-5134-5112**

**Кратак садржај:** Фокус пројекта 3PINT је унапређење иновативне технологије за уклањање корозивног сумпора, PCB-а и продуката старења из трансформаторских уља. Сама технологија укључује процес хемијске конверзије у циљу обраде трансформаторских уља на еколошки прихватљив начин. Коришћена технологија је еколошки затворена без токсичних емисија и отпада који се испушта у животну средину. Иновативно решење за чишћење кородираних посребрених контаката, ефикасно уклања наслаге сребро сулфида са OLTC контаката, обезбеђујући дугорочну поузданост и потпуно решавање проблема корозивног сумпора у енергетским трансформаторима.

**Кључне речи:** 3PINT, иновативна технологија, еколошки затворена технологија, комплетно решење проблема корозивног сумпора, енергетски трансформатор.

# 3PINT INNOVATIVE TECHNOLOGIES AS PERMANENT SOLUTION TO MITIGATE CORROSIVE SULPHUR IN POWER TRANSFORMERS

Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0005-0158-5172**
Draginja Mihajlović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-8515-855X**
Jelena Janković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-5820-5736**
Valentina Vasović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-5789-4867**
Vladimir Ivančević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-0346-0120**
Dejan Kolarski, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-8723-7788**
Neda Kovačević, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0007-5134-5112**

**Abstract:** Focus of 3PINT project is to upgrade readiness level of the innovative technology for the removal of corrosive sulphur, PCB and aging product from transformer oils. Technology itself includes chemical conversion process to refine transformer oils in eco-friendly manner. Used technology is environmentally closed

with no toxic emissions and waste released into environment. In addition, innovative solution for corroded silver-plated contacts cleaning, effectively removes silver sulphide deposits from OLTC contacts, ensuring long-term reliability and complete power transformer corrosive sulphur mitigation.

**Keywords:** 3PINT, innovative technology, environmentally closed technology, power transformer, complete corrosive sulphur mitigation.

**Биографије | Biographies**

**Јелена Лукић (Jelena Lukić)**

Др Јелена Лукић, дип. инж. техн. запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, Београд, Србија од 1996. године. Руководилац је Специјализоване лабораторије за испитивање изолационог уља и папира, акредитоване према ISO 17025. Аутор је преко 20 публикација у истакнутним часописима и преко 50 радова на међународним и домаћим конференцијама. Бави се анализом изолационог уља и папира и дијагностиком стања енергетских трансформатора, старењем изолационог уља и целулозе и иновацијама у области примене хемијских технологија у третману изолационих течности и PCB деконтаминације уља и трансформатора. Проналазач је два регистрована патента у овој области. Водила је више од 20 истраживачких пројеката, истакнути је члан међународног комитета CIGRE. Била је члан у око 20 CIGRE SC D1, SC A2 и IEC TC 10 WG радних група и руководилац две радне групе у IEC TC 10 и CIGRE. Тренутно руководи радном групом CIGRE WG D1.76: „Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers" и CIGRE SC A2-Power Transformers: „Silver Corrosion in Transformers". Јелена Лукић је делегат Српског националног комитета у Међународном електротехничком комитету Технички комитет 10 (IEC TC 10) – Флуиди за електротехничке примене и IEC TC 10 ко-официр за везу CIGRE SC A2.

*Jelena's field of expertise is insulating oil and paper analyses and power transformers condition assessment, insulating oil and cellulose ageing, know-how in oil treatment processes for the removal of corrosive sulfur and PCB. She holds two registered patents in this field. She has published 92 research and technical papers and has been a project leader of more than 20 research projects. Jelena has been a member in more than 20 CIGRE SC D1, SC A2 and IEC TC 10 WG's over the past two decades. She is currently convener of CIGRE WG D1.76: Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers and CIGRE SC a2.02. Task Force on Silver Corrosion in Power Transformers (2024-2025). Jelena Lukic is a delegate of the Serbian National Committee in International Electro-technical Committee Technical Committee 10 (IEC TC 10) – Fluids for Electro-technical Applications, Distinguished member of CIGRE in 2024 and IEC TC 10 Liaison Co-officer of CIGRE SC A2.*

**Драгиња Михајловић (Draginja Mihajlović)**

Др Драгиња Михајловић је стручни сарадник у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира Института Никола Тесла, Београд. Докторирала је на катедри за хемијско инжењерство на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Ангажована је на пословима везаним за анализе изолационих уља и папира, процени стања енергетских трансформатора и дијагностици кварова. Такође се бавила истраживањима у области расподеле влаге у папирно/уљној изолацији, развоју методе за испитивање лаких алкохола растворених у изолационим уљима (метанол, етанол), увођењу методе за детекцију елементарног сумпора, као и истрживањима у области старења целулозне изолације импрегнисане минералним уљима и алтернативним течностима. Учествовала је у бројним домаћим и међународним пројектима везаним за деконтаминацију PCB контаминиране опреме и уклањање корозивног сумпора из изолационих течности.

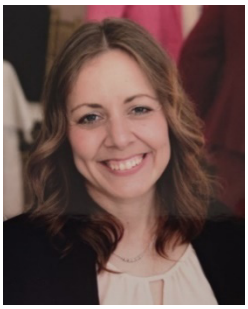
*Draginja Mihajlović, PhD in Chemical Engineering, is an associate research engineer in the Laboratory for Insulating Oil and Paper Testing, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia. She is engaged in analysis of oil and paper insulation, power transformers condition assessment and fault diagnostics. She was also engaged in research activities in the field of moisture distribution in paper/oil insulation, method for light alcohols dissolved in the insulating oils (methanol, ethanol) and elemental sulphur detection and quantification and aging of cellulose insulation impregnated with mineral and alternative liquids. She was involved in number of domestic and international projects related to PCB decontamination and sulphur corrosion phenomena as leading engineer.*

**Јелена Јанковић (Jelena Janković)**

Др Јелена Јанковић, дипл. инж. техн, руководилац Специјализоване лабораторије за испитивање изолационих уља и папира, акредитоване према ISO 17025. Главна област експертизе је испитивање изолационих уља и папира, дијагностика стања и процена ризика експлоатације енергетских трансформатора. Област научно-истраживачког рада су процеси рерафинације и регенерације уља у циљу уклањања корозивних сумпорних једињења и продуката старења из уља. Објавила је више од 50 радова у међународним и домаћим часописима и конференцијама. Коаутор је националног патента за уклањање једињења сумпора корозивних према сребру из минералних трансформаторских уља, регистрованог 2019. године. Јелена Јанковић је члан IEC TC 10 MT 43 за ревизију стандарда IEC 60666 – детекција и одређивање специфичних адитива у минералним изолационим уљима и CIGRE SC A2 TF за корозију сребра у трансформаторима. Члан је националног комитета CIGRE SC A2 – Трансформатори и члан радне групе Комисије за стандарде КС Н010 – Флуиди за примену у електротехници, Института за стандардизацију Србије.

*Jelena Jankovic, PhD in Chemical Engineering, Head of Specialized laboratory for insulating oil and paper testing accredited according to ISO 17025. Her main fields of work and expertise are insulating oil and paper analysis, power transformers condition and risk assessment and research activities related to oil re-refining, removal of corrosive sulfur compounds and ageing products from the insulating liquids. She published more than 50 papers in international and domestic journals and conferences. She is the co-author of National registered patent 2019, for removal of sulphur compounds corrosive to silver from mineral transformer oils. Jelena Jankovic is a member of IEC TC 10 MT 43 for Revision of IEC 60666 – Detection and determination of specified additives in mineral insulating oils and CIGRE SC A2.02 TF on sliver corrosion. She is a member of Serbian National Committee CIGRE SC A2 – Transformers and a member of Technical Committee KS N010 – Fluids for electrotechnical applications of Institute for Standardization of Serbia.*

**Валентина Васовић (Valentina Vasović)**



Др Валентина Васовић је виши стручни сарадник у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира Института Никола Тесла, Београд, Србија. Докторирала је на катедри за хемијско инжењерство на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, Србија. Њене области интересовања су анализе изолационог уља и папира, процена стања енергетских трансформатора на основу анализе уља, феномени дистрибуције воде у уљно/целулозној изолацији, процеси старења изолационог система енергетских трансформатора и маркери деградације, процена ризика у вези са старењем изолације енергетских трансформатора и примењљивост алтернативних течности у енергетским трансформаторима. Члан је радних група CIGRE WG D1.76 и CIGRE JWG D1/A2.80, члан је националног комитета CIGRE Србија СТК А2, као и Техничких комитета Н010 и Н015 Института за стандардизацију Србије.

*Valentina Vasović is a senior associate in Laboratory for insulating oil and paper testing of the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia. She earned Ph.D. degree in chemical engineering from the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia. Her main fields of expertise are insulating oil and paper analyses, power transformers condition assessment, water distribution phenomena in*

*the oil/cellulose insulation, thermal parameters and aging process of insulation system of power transformers, risk assessment related to power transformer insulation ageing and applicability of alternative liquids in power transformers. She is a member of currently ongoing CIGRE WG D1.76 and CIGRE JWG D1/A2.80, and member of Serbian National Committee CIGRE SC A2 as well as Technical Committees N010 and N015 of the Serbian Institute for Standardization.*

**Владимир Иванчевић (Vladimir Ivančević)**

Владимир Иванчевић је запослен као виши технички сарадник у Лабораторији за испитивање изолационог уља и папира Института Никола Тесла од 2006. године. Владимир је руководилац радова мобилним постројењем на терену. У последњих 10 година учествовао је на пројектима за ЕПС, EMC, UNIDO где је на више од 3000 тона енергетских трансформатора примењена ИНТ технологија. Учествовао је у пројектима рађеним за Maschinenfabrik Reinhausen (Немачка), GE prev. Alsthom Grid, Areva (Француска), Hitachi Energy (Немачка), EDF (Француска).

*Vladimir Ivancević works in Nikola Tesla Institute, Laboratory for paper/oil insulation testing, since 2006, as senior technician. Vladimir is a head of mobile plant operation (on-site), with more than 3000 tons of power transformers decontaminated and desulphurized using NTI patents for clients in Republic of Serbia in the last 8 years (Project for Power System of Serbia, Transmission System, UNIDO). He participated in the projects done for Maschinenfabrik Reinhausen (Germany), GE prev. Alsthom Grid, Areva (France), Hitachi Energy (Germany), EDF (France).*

**Дејан Коларски (Dejan Kolarski)**

Дејан Коларски, мастер инжењер технологије, запослен је у Електротехничком институту Никола Тесла у Београду, од 2018. године. Ради на позицији стручног сарадника у Специјализованој лабораторији за испитивање изолационих уља и папира, акредитованој према ISO 17025, где је ангажован од почетка запослења. У новембру 2019. године, Дејан Коларски је уписао докторске академске студије на Универзитету у Београду, Технолошко-металуршком факултету, на Катедри за хемијско инжењерство. Његово докторско истраживање усмерено је на проучавање и развој процеса за десулфуризацију минералних изолационих уља. Дејан је аутор и коаутор неколико објављених научних радова и учесник на неколико пројеката везаних за третман изолационих уља. Такође, аутор је проналаска за који је 2023. године поднета патентна пријава под називом „Поступак за десулфиризацију", регистрована под бројем П-2023/0532.

*Dejan Kolarski received MSc degree in Technology Engineering and has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, since 2018. He works as a research associate in the Specialized laboratory for testing insulating oils and papers, accredited according to ISO 17025, where he has been engaged since the beginning of his employment. In November 2019, Dejan Kolarski enrolled in doctoral studies at the University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Department of Chemical Engineering. His PhD research is focused on the investigation and development of processes for the desulfurization of mineral insulating oils. Dejan is the author and co-author of several published scientific papers and a participant in multiple projects related to insulating oil treatment. He is also the author of an invention for which a patent application titled "Desulfurization Process" was filed in 2023, registered under the number П-2023/0532.*

**Неда Ковачевић (Neda Kovačević)**

Неда Ковачевић, дипл. инг. техн, стручни сарадник је у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира у Центру за електромерења, Електротехничког института Никола Тесла. Бави се анализом трансформаторског уља (гасна и течна хроматографија, испитивање физичких, хемијских и електричних својстава изолационих уља) и дијагностиком. Такође, као водећи инжењер процеса деконтаминације/уклањања корозивних једињења сумпора ангажована је за праћење процеса на лицу места и мерења током процеса на лицу места. Неда је била аутор и коаутор више објављених научних радова и учесник у више пројеката везаних за третман изолационих уља.

*Neda Kovačević, M.Sc. obtained her M.Sc. degree in 2010 in Chemical Engineering from the University of Belgrade, Serbia, currently pursuing Ph.D. She is an expert associate engineer in the Laboratory for Insulating Oil and Paper Testing, Electrical Measurements Department, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering. She is engaged in oil analysis (gas and liquid chromatography, testing of phisical, chemical and electrical properties of insulating oils) and diagnostics. Also, as decontamination process/ removal of corrosive sulfur compounds leading engineer she is engaged for monitoring of process at site and take measurements during the on-site process. Neda was the author and co-author of several published scientific papers and a participant in several projects related to the treatment of insulating oils.*

***DOI*: 10.5937/TID25062V**

# ТЕСТОВИ СТАРЕЊА АЛТЕРНАТИВНИХ ИЗОЛАЦИОНИХ ТЕЧНОСТИ

Валентина Васовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-5789-4867**
Ahmed Gamil, Hitachi Energy, Germany
Јелена Лукић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0009-0005-0158-5172**
Драгиња Михајловић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Београд, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-8515-855X**

**Кратак садржај:** Коришћење алтернативних течности као замена за минерална уља почела је пре неколико деценија. Ипак, још увек не постоје јасне смернице и регулативе којима је могуће утврдити остарелост чврсте и течне изолације приликом примене алтернативних течности. Већина истраживања се ослања на смернице које су утврђене за минерална уља, што може довести до забуне или грешке. Утврђивање остарелости изолационог система и краја животног века трансформатора пуњених минералним уљем заснива се на великој количини информација и искуства која су прикупљана откад је започето коришћење оваквих трансформатора. Границе кључних својстава течности и критеријуми гаснохроматографске анализе су добро дефинисане за рекондиционирање, регенерацију и замену минералног уља, као и утврђивање исправности трансформатора. Одређени напори истраживачке заједнице су усмерени били на корекцију ових правила како да би се применили на трансформаторе са алтернативним течностима, али за сада без значајнијих успеха. У оквиру овог истраживања, спроведени су упоредни тестови старења у лабораторијским условима два природна естра исте основе. Старење је вршено на температури од 180°C у ћелијама од нерђајућег челика са два типа папира различите термичке издржљивости и четири типа металних компоненти у односима који одговарају реалним трансформаторима. Након дефинисаних интервала старења, до 28 дана, вршена су испитивања кључних својства изолационих течности, као што су: садржај гасова растворених у уљу, садржај киселина, диелектрична чврстоћа, садржај воде, међуповршински напон, вискозност, садржај антиоксиданата, као и степен полимеризације папира и садржај воде у папиру. Резултати тестова су указали на значајне разлике у старењу и генерисању гасова испитиваних течности, у зависности од врсте папира који је коришћен током старења, као адитива присутних у течностима. Осим тога, студија је показала и одређену повезаност својстава течности у различитим фазама деградације папира. Резултати су указали на важност спровођења тестова компатибилности изолационих течности и различитих материјала пре њихове примене у трансформаторима.

**Кључне речи:** тестови старења, компатибилност, животни век, природни естри, енергетски трансформатори.

# AGING TESTS OF ALTERNATIVE INSULATING LIQUIDS

Valentina Vasović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-5789-4867**
Ahmed Gamil, Hitachi Energy, Germany
Jelena Lukić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0005-0158-5172**
Draginja Mihajlović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-8515-855X**

**Abstract:** Using alternative insulation liquids as a replacement of mineral oil took place since decades. Until now there is no regulation in the standards to identify the degradation of solid or liquid insulation under the application of alternative liquids. Most of investigations rely on the guidance known and used for mineral oil,

which leads mostly to confusion and are misleading. Determination of aging and end of life for transformers filled with mineral oil is based on huge amount of information and experience gathered since oil transformers were built. The limits of key properties and DGA analysis are well defined for reconditioning, reclaiming and replacement of mineral oil as well as for fault detection in transformers. Efforts of research community were focused to extract these rules and modify them to fit to alternative liquids, however, until now there is no real success in this area. In this study, comparative laboratory aging tests of two natural esters of the same base were performed. Tests were conducted at 180°C in stainless steel vessels with two different types of paper and four different metallic components in defined ratios corresponding to real power transformers. After several aging periods up to 28 days was finished, the key properties of insulating liquids were measured, such as: gasses dissolved in the oil, acidity, breakdown voltage, water content, interfacial tension, viscosity, antioxidant content, as well as degree of polymerization of the paper and water content in the paper. The aging results provided valuable insights into the differences in aging and gas emission patterns of the tested liquids, which varied depending on the type of paper used and the antioxidants present in the liquids. Additionally, the study demonstrated the interrelationship of liquid properties at various stages of paper degradation. The findings highlighted the importance of performing compatibility tests between insulating liquids and other materials intended for use before their application in power transformers.

**Keywords:** aging test, compatibility, lifetime, natural ester, power transformer.

**Биографије | Biographies**

**Валентина Васовић (Valentina Vasović)**

Др Валентина Васовић је виши стручни сарадник у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира Института Никола Тесла, Београд, Србија. Докторирала је на катедри за хемијско инжењерство на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, Србија. Њене области интересовања су анализе изолационог уља и папира, процена стања енергетских трансформатора на основу анализе уља, феномени дистрибуције воде у уљно/целулозној изолацији, процеси старења изолационог система енергетских трансформатора и маркери деградације, процена ризика у вези са старењем изолације енергетских трансформатора и примењивост алтернативних течности у енергетским трансформаторима. Члан је радних група CIGRE WG D1.76 и CIGRE JWG D1/A2.80, члан је националног комитета CIGRE Србија СТК А2, као и Техничких комитета Н010 и Н015 Института за стандардизацију Србије.

*Valentina Vasović is a senior associate in Laboratory for insulating oil and paper testing of the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia. She earned Ph.D. degree in chemical engineering from the Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Serbia. Her main fields of expertise are insulating oil and paper analyses, power transformers condition assessment, water distribution phenomena in the oil/cellulose insulation, thermal parameters and aging process of insulation system of power transformers, risk assessment related to power transformer insulation ageing and applicability of alternative liquids in power transformers. She is a member of currently ongoing CIGRE WG D1.76 and CIGRE JWG D1/A2.80, and member of Serbian National Committee CIGRE SC A2 as well as Technical Committees N010 and N015 of the Serbian Institute for Standardization.*

### Ahmed Gamil

Ahmed Gamil received his M.Sc. degree from RWTH Aachen, Germany in 2004 (High Voltage Technology). Ahmed worked previously at University of Erlangen (FAU, EES) as scientific research assistance for the development of differential protection systems before joining SGB-SMIT Group. In 2010 he joined SGB in Regensburg with the aim of building the R&D Department from a technology and management point of view. In the last years as head of R&D, he contributed by different publications to transformer design optimization and technology innovation. His journey at SGB ends in Oct. 2022 to start a new one at Hitachi Energy as "Business R&D Expert Professional" from Nov. 2022. His focus is to improve testing procedure of insulation liquids for aging and compatibility and introduce an application guideline for power transformer under environmental stresses. He is an active member in IEC and CIGRE working groups and contributed as an author in the new CIGRE Green Book for "Transformers and Reactors Life Management".

### Драгиња Михајловић (Draginja Mihajlović)

Др Драгиња Михајловић је стручни сарадник у Лабораторији за испитивање изолационих уља и папира Института Никола Тесла, Београд. Докторирала је на катедри за хемијско инжењерство на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Ангажована је на пословима везаним за анализе изолационих уља и папира, процени стања енергетских трансформатора и дијагностици кварова. Такође се бавила истраживањима у области расподеле влаге у папирно/уљној изолацији, развоју методе за испитивање лаких алкохола растворених у изолационим уљима (метанол, етанол), увођењу методе за детекцију елементарног сумпора, као и истраживањима у области старења целулозне изолације импрегнисане минералним уљима и алтернативним течностима. Учествовала је у бројним домаћим и међународним пројектима везаним за деконтаминацију *PCB* контаминиране опреме и уклањање корозивног сумпора из изолационих течности.

*Draginja Mihajlović, PhD in Chemical Engineering, is an associate research engineer in the Laboratory for Insulating Oil and Paper Testing, Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, Serbia. She is engaged in analysis of oil and paper insulation, power transformers condition assessment and fault diagnostics. She was also engaged in research activities in the field of: moisture distribution in paper/oil insulation, method for light alcohols dissolve in the insulating oils (methanol, ethanol) and elemental sulphur detection and quantification and aging of cellulose insulation impregnated with mineral and alternative liquids. She was involved in number of domestic and international projects related to PCB decontamination and sulphur corrosion phenomena as leading engineer.*

### Јелена Лукић (Jelena Lukić)

Др Јелена Лукић, дип. инж. техн. запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, Београд, Србија од 1996. године. Руководилац је специјализоване лабораторије за испитивање изолационог уља и папира, акредитоване према ISO 17025. Аутор је преко 20 публикација у истакнутним часописима и преко 50 радова на међународним и домаћим конференцијама. Бави се анализом изолационог уља и папира и дијагностиком стања енергетских трансформатора, старењем изолационог уља и целулозе и иновацијама у области примене хемијских технологија у третману изолационих течности и PCB деконтаминације уља и трансформатора. Проналазач је два регистрована патента у овој области. Водила је више од 20 истраживачких пројеката, истакнути је члан међународног комитета CIGRE. Била је члан у око 20 CIGRE SC D1, SC A2 и IEC TC 10 WG радних група и руководилац две радне групе у IEC TC 10 и CIGRE. Тренутно руководи радном групом CIGRE WG D1.76: „Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers" и CIGRE SC A2-Power Transformers:

„Silver Corrosion in Transformers”. Јелена Лукић је делегат Српског националног комитета у Међународном електротехничком комитету Технички комитет 10 (IEC TC 10) – Флуиди за електротехничке примене и IEC TC 10 ко-официр за везу CIGRE SC A2.

*Jelena’s field of expertise is insulating oil and paper analyses and power transformers condition assessment, insulating oil and cellulose ageing, know-how in oil treatment processes for the removal of corrosive sulfur and PCB. She holds two registered patents in this field. She has published 92 research and technical papers and has been a project leader of more than 20 research projects. Jelena has been a member in more than 20 CIGRE SC D1, SC A2 and IEC TC 10 WG’s over the past two decades. She is currently convener of CIGRE WG D1.76: Tests for the verification of quality and ageing performance of cellulose insulation for power transformers and CIGRE SC a2.02. Task Force on Silver Corrosion in Power Transformers (2024–2025). Jelena Lukic is a delegate of the Serbian National Committee in International Electro-technical Committee Technical Committee 10 (IEC TC 10) – Fluids for Electro-technical Applications, Distinguished member of CIGRE in 2024 and IEC TC 10 Liaison Co-officer of CIGRE SC A2.*

***DOI*: 10.5937/TID25066N**

# КРИТИЧКО МИШЉЕЊЕ У НАУЦИ И ОБРАЗОВАЊУ

Драгана Наумовић-Вуковић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-8334-4452**
Борис Антић, Smart Grid Solutions doo, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-2504-9479**
Невена Малешевић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0009-0004-9367-3884**
Лука Ивановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-4345-4523**

**Кратак садржај:** Критичко мишљање у науци, је способност разликовања чињеница од претпоставки, анализирање података без пристрасности и постављање питања која воде дубљем разумевању света који нас окружује. Кроз критичко мишљање, научници долазе до открића која мењају наш поглед на свет. Оно представља основу на којој се изграђује научни метод. Без способности да критички размишљамо, научни напредак би био знатно ограничен, а наша способност да решавамо проблеме, доносимо иновације и изграђујемо одрживу будућност била би умањена. Пројект NANO-THINK (*Teaching critical thinking in science through nano-learning and virtual exchange principles*) бави се развојем специјализованог програма учења који активно подстиче развој критичког мишљења у различитим научним дисциплинама. Коришћењем технологије учења на даљину и концепта нано учења, овај пројект има за циљ да пружи студентима ефикасно и јединствено искуство учења. У овом раду су представљени кључни резултати *GAP* анализе спроведене на узорку од 585 студената и 218 професора и наставног особља из Србије, Хрватске, Црне Горе и Босне и Херцеговине, као и даљи кораци у овом пројекту. Пројекат се реализује у партнерству са следећим институцијама: Факултет здравствених студија из Ријеке, који је и координатор пројекта, Електротехнички институт Никола Тесла из Београда, Универзитет у Доњој Горици, Медицински факултет из Граца, Интернационални *Burč* универзитет, Институт *Verlab* из Сарајева, компанија *B-Solutions* из Тивта и Међународна академија наука и умјетности у Босни и Херцеговини.

**Кључне речи:** критичко мишљење, наука, образовање, нано-учење, учење на даљину, виртуелна размена.

# CRITICAL THINKING IN SCIENCE AND EDUCATION

Dragana Naumović-Vuković, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-8334-4452**
Boris Antić, Smart Grid Solutions doo, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-2504-9479**
Nevena Malesevic, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0004-9367-3884**
Luka Ivanović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-4345-4523**

**Abstract:** Critical thinking in science means the ability to distinguish facts from assumptions, analyzing data without bias, and asking questions that lead to deeper understanding. Through critical thinking, scientists make discoveries that change our perspective on the world. Critical thinking represents the foundation upon which the entire scientific method is built. Without the ability to think critically, scientific progress would be significantly limited, and our ability to solve problems, innovate, and build a sustainable future would be diminished. NANO-THINK project (Teaching critical thinking in science through nano-learning and virtual exchange principles) is dedicated to developing a specialized learning program that actively encourages the development of critical thinking in various scientific disciplines. By utilizing distance learning technology and concept of nano-learning, the project aims at providing an efficient and unique learning experience. This paper

presents key results of the GAP analysis conducted on a sample of 585 students and 218 teaching staff from Serbia, Croatia, Montenegro and Bosnia and Herzegovina, as well as further steps in this project. The activities are implemented in partnership involving the following institutions: Faculty of Health Studies from Rijeka, which is also the project coordinator, the Nikola Tesla Institute from Belgrade, University of Donja Gorica, Medical Faculty from Graz, International Burch University, the Verlab Institute from Sarajevo, company B-Solutions from Tivat and the International Academy of Science and Arts in Bosnia and Herzegovina.

**Keywords:** critical thinking, science, education, nano-learning, distance learning, virtual exchange.

**Биографије | Biographies**

**Драгана Наумовић-Вуковић (Dragana Naumovic Vukovic)**

Др Драгана Наумовић-Вуковић је дипломирала на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 1992. Магистрирала је на истом факултету 1997. године. Звање доктора наука стекла је 2018. године на Факултету техничких наука Унивезитета у Новом Саду. У Институту за нуклеарне науке ВИНЧА била је запослена од 1992. до 1997. године. У периоду од 1997. до 2003. године радила је у Дирекцији за мере и драгоцене метале у Београду. Од 2003. године ради у Електротехничком институту Никола Тесла, Београд, као руководилац Специјализоване лабораторије за еталонирање. Активно учествује у истраживачким пројектима из области мерних техника и мерних трансформатора, а посебно у пројектима развоја мерних метода и мерних уређаја и система за испитивање тачности и еталонирање мерних трансформатора. Делегат је Српског националног комитета у Међународној електротехничкој комисији IEC, Технички комитет 38 (IEC TC 38) – Мерни трансформатори. Председник је Студијског комитета SK A3: Високонапонска опрема, Српског националног комитета CIGRE – CIGRE Србија.

*Dragana Naumović Vuković, PhD received the Dipl. Ing. degree in Electrical Engineering and the M.Sc. degree from the University of Belgrade, Belgrade, Serbia, School of Electrical Engineering, in 1992 and 1997, respectively. She received the Ph.D. degree from the University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences in 2018. She was with the Institute of Nuclear Sciences, Vinča, Serbia, from 1992 to 1997. She was with the Bureau for Measures and Precious Metals, Belgrade, from 1997 to 2003. Since 2003, she joined the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbia where she is currently Head of Calibration Laboratory. Her current research interests include the calibration techniques for instrument transformers and electronic instrumentation, as well as the design and manufacturing of precision test equipment for instrument transformers. She is a delegate of the Serbian National Committee in the International Electrotechnical Commission IEC, Technical Committee 38 (IEC TC 38) – Instrument transformers. She is also the chair of the Study Committee SK A3: High Voltage Equipment, of the Serbian National Committee CIGRE – CIGRE Serbia.*

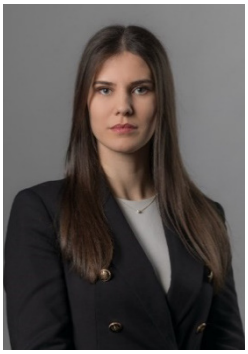
**Борис Антић (Boris Antić)**

Проф. др Борис Антић ради на Факултету техничних наука у Новом Саду од 1999. године на Катерди за електрична мерења, Департмана за Енергетику, електронику и телекомуникације. Добитник је престижне стипендије Немачког друштва за академску размену (DAAD) у периоду 2001/2002 године. Аутор је више радова на домаћим и међународним конференцијама и страним часописима, а објавио је и два уџбеника. Истраживачка каријера је усмерена ка областима електричних мерења, телекомуникација и осматрања Земље. Познавалц је европских регулатива и процедура. Од 2008. године до данас активно је учествовао на више ТЕМПУС пројеката (USP-OF, TIU, KNOWTS, STREV), ERASMUS+ пројеката (NANO-THINK), FP7 пројеката (AgroSense, BalkanGeoNet, EOPower, IASON, InnoSense, Fractals) и H2020 пројеката (SMART4ALL). 2014. године радио је као спољни сарадник Заједничког истраживачког центра (JRC) Европске комисије и национална контакт особа за научну подршку имплементацији Дунавске стратегије и Дунавске референтне инфраструктуре просторних података и сервиса (DRDSI). Био је први руководилац Центра

за трансфер технологија Универзитета у Новом Саду. У компанији Smart Grid Solutions доо Нови Сад обавља функцију генералног директора.

*Prof. Dr. Boris Antic works at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad since 1999 at the Department of Electrical Measurements, Department of Energy, Electronics and Telecommunications. He is the recipient of the prestigious scholarship of the German Academic Exchange Service (DAAD) in the period 2001/2002. He is the author of several papers at domestic and international conferences and foreign journals, and has published several textbooks. His research career is focused on the fields of electrical measurements, telecommunications and Earth observation. He is well versed in European regulations and policies. Since 2008 to the present, he has actively participated in numerous TEMPUS projects (USP-OF, TIU, KNOWTS, STREV), ERASMUS+ projects (NANO-THINK), FP7 projects (AgroSense, BalkanGeoNet, EOPower, IASON, InnoSense and Fractals) and H2020 projects (SMART4ALL). In 2014, he worked as an external associate of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission and the national contact person for scientific support for the implementation of the Danube Strategy and the Danube Reference Infrastructure for Spatial Data (DATA and services). He was the first head of the Technology Transfer Centre at the University of Novi Sad. He holds the position of General Director of Smart Grid Solutions doo Novi Sad.*

**Невена Малешевић (Nevena Malesević)**



Невена Малешевић, мастер инжењер електротенике и рачунарства, завршила је основне и мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру Енергетика. Тренутно је на докторским студијама на истом факултету. Од 2019. године запослена је у Институту Никола Тесла, где ради као стручни сарадник у Центру за електромерења.

*Nevena Malešević, MSc in Electrical Engineering and Computer Science, completed her bachelor's and master's studies at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, specializing in Power Engineering. She is currently pursuing her PhD studies at the same faculty. Since 2019, she has been employed at the Nikola Tesla Institute, where she works as a research associate at the Electrical Measurements Department.*

**Лука Ивановић (Luka Ivanović)**

Лука је рођен је 1997. године у Ваљеву. Основне и мастер студије завршио је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру Сигнали и системи, где је стекао темељна знања из области обраде сигнала, машинског учења, система управљања и уграђених система. Тренутно је на докторским студијама из области управљања системима и обраде сигнала. Професионалну каријеру започео је праксом у компанији ЕНЕЛ д.о.о, где се бавио *PLC* програмирањем и развојем модела за обуку. Од фебруара 2021. године запослен је у Институту Никола Тесла у Београду као *embedded software* инжењер. У оквиру свог рада учествује у развоју алгоритама за системе побуда синхроних машина, програмирању микроконтролера, индустријској комуникацији и интеграцији нисконапонске електронике за процесну контролу. Поред професионалног ангажмана, активно се бави научним радом, а његови истраживачки интереси укључују примену машинског учења у електроенергетици, обраду сигнала и оптимизацију управљања електроенергетским системима. Аутор је више научних радова, укључујући области моделовања синхроних генератора и стабилности напона у микромрежама са прикљученим ветроелектранама.

*Luka was born in 1997 in Valjevo. He completed his undergraduate and master's studies at the School of Electrical Engineering of the University of Belgrade, majoring in Signals and Systems, where he acquired fundamental knowledge in the field of signal processing, machine learning, control systems and embedded systems. He is currently pursuing his doctoral studies in the field of systems management and signal processing. He started his professional career with an internship at ENEL d.o.o., where he was involved in PLC programming and development of training models. Since February 2021, he has been employed at the Nikola Tesla Institute in Belgrade as an embedded software engineer. As part of his work, he participates in the development of algorithms for excitation systems of synchronous machines, programming of microcontrollers,*

*industrial communication and integration of low-voltage electronics for process control. In addition to his professional engagement, he is actively engaged in scientific work, and his research interests include the application of machine learning in power engineering, signal processing and optimization of power system management. He is the author of several scientific papers, including the areas of synchronous generator modeling and voltage stability in microgrids with connected wind farms.*

***DOI*: 10.5937/TID25070S**

# МОДЕРНИЗАЦИЈА 6,3 KV ПОСТРОЈЕЊА У ТЕКО-А

Златко Симеуновић, Јелена Николић, Дејан Жуковски, Милош Станисављевић,
АД ЕПС, ТЕКО Костолац, ТЕ Костолац А, Република Србија

**Кратак садржај:** У склопу ТЕ Костолац А, од прве синхронизације блока А1 1967. године, функционише допрема угља чији је задатак да врши пријем, складиштење и отпрему угља за рад термоелектрана. Изградњом блока А2 1980. године, дошло је до повећане потрошње угља као и до захтева за стабилнији и поузданији рад блокова, што је довело до изградње постојења 6,3 kV 2002. године. Након експлоатације и непрекидног рада, 2023. године извршена је реконструкција и модернизација постројења 6,3 kV. За опрему која је била у функцији више није било резервних делова, а велики број манипулација довеле су до учесталијих кварова на електроенергетској опреми. У тренутку реконструкције већи део опреме у разводном постројењу био је стар више од 21 године. Одржавање и експлоатација су се заснивали на искуству особља. Стари вакуумски прекидачи са оштећеним контактима и дотрајалим моторно-опружним погонима замењени су новим вакумским *power block* прекидачима који имају краће време деловања, већу струју искључења, мање потребе за одржавањем. Микропроцесорске заштите старије генерације замењене су заштитама најновије генерације које су поузданије, брже, прегледније, ефикасније, погодније за накнадну анализу архивираних података и са више функција. Уграђене су две резервне потпуно опремљене ћелије, чиме је повећана поузданост и остављена резерва за потребе технолошког процеса. Инсталиран је систем управљања и интегрисан у постојећи SCADA систем на електрокоманди и уведена је потпуна даљинска управљивост постројења. Реконструкцијом постројења допреме угља постигнута је једноставнија манипулација, лакше одржавање, даљинско праћење и управљање и што је најважније подигнут је ниво поузданости напајане опреме.

**Кључне речи:** допрема угља, микропроцесорска заштита, постројење 6,3 kV, SCADA систем, вакуумски прекидач.

# MODERNIZATION OF 6.3 KV SWITCHGEAR IN THERMAL POWERPLANT KOSTOLAC A

Zlatko Simeunović, Jelena Nikolić, Dejan Žukovski, Miloš Stanisavljević,
AD EPS, TEKO Kostolac, TE Kostolac A, Republic of Serbia

**Abstract:** As part of the TPP Kostolac A, since the first synchronization of its unit A1 in 1967, coal delivery has been operating, the task of which is to receive, store and delivery coal for the operation of TPP. With the construction of unit A2 in 1980, there was an increased consumption of coal, as well as a demand for more stable and reliable operation of the units, which led to the construction of a 6.3 kV switchgear in 2002. After exploitation and continuous operation, in 2023, the reconstruction and modernization of the 6.3 kV switchgear was carried out. There were no more spare parts for the equipment that was in operation, and a large number of manipulations led to more frequent electrical equipment failure. At the time of the reconstruction, most of the equipment in the switchgear was more than 21 years old. Maintenance and exploitation were based on the experience of the staff. Old vacuum circuit breakers with damaged contacts and worn-out motor-spring drives have been replaced by new vacuum power block circuit breakers that have a shorter operating time, higher tripping current and less need for maintenance. Microprocessor protections of the older generation have been replaced by protections of the latest generation that are more reliable, faster, more transparent, more efficient, more suitable for subsequent analysis of archived data and with more functions. Two spare fully equipped cubicles have been installed, which increased reliability and left a reserve for the needs of the technological process. A control system was installed and integrated into the existing SCADA system on the electrical control panel and full remote control of the switchgear was introduced. The reconstruction of the coal delivery facility resulted in simpler manipulation, easier maintenance, remote monitoring and control, and most importantly, the level of reliability of the powered equipment has been raised.

**Keywords:** coal delivery, microprocessor protection, 6.3 kV switchgear, SCADA system, vacuum circuit breaker.

**Биографије | Biographies**

**Златко Симеуновић (Zlatko Simeunović)**

ФТН Чачак Дипл. инж. електротехнике VII-I Смер: електроенергетика 1997. Инжењер за мерење и заштиту. 2007. Инжењер за мерење и заштиту и сигурносни напон. 2023. Водећи инжењер ТП одржавања за електро постројење. Учествовао сам као надзор на ревитализацији блокова ТЕ Костолац А (А1 и А2). Учествовао сам на реконструкцији више средњенапонских постројења. Учествовао сам на конференцијама CIGRE/CIRED као аутор и коаутор.

*Faculty of Technical Sciences Čačak Degree in electrical engineering – VII-I 1997. Measurement and protection engineer. 2007. Measurement, protection and safety voltage engineer. 2023. Heading engineer of technical preparation of maintenance for electrical switchgear. Participated as a supervisor in the revitalization of the power plant TE Kostolac A. Participated in the reconstruction of several low, medium and high voltage switchgears. Participated in conferences CIGRE/CIRED as author and co-author.*

**Јелена Николић (Jelena Nikolić)**

ВТШСС Пожаревац, Специјалиста – струковни инжењер електротехнике и рачунарства VII-I. Стручни испит из области ПП заштите. Учествовала у радовима на ревитализацији блока А1. Више обављених радова као аутор/коаутор на CIRED и CIGRE Србија.

*HTSVS Požarevac, Specijalist – Professional Engineer in Electrical Engineering and Computing VII-I. Professional exam in the field of AF protection. Participated in the revitalization of power plant A1. Several papers published as author/co-author at CIRED and CIGRE Serbia conferences.*

**Дејан Жуковски (Dejan Žukovski)**

1997 – Дипломирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду; одсек: Електронергетика; смер: Електроенергетски системи. 1998 – Запослен у ЕПС, Термоелектране Костолац, ТЕ Костолац Б као млађи инжењер. 2003 – Инжењер за мерење и заштиту ТЕ Костолац А. 2007 – Инжењер за високи напон ТЕ Костолац А. 2015 – Водећи инжењер одржавања за електро постројење ТЕ Костолац А. 2023 – Шеф техничко-технолошке припреме одржавања ТЕ Костолац А. Аутор и коаутор више радова на конференцијама CIGRE и CIRED.

*1997 – Graduated at the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade; department: Electrical Power Engineering; major: Electrical Power Systems. 1998 – Employed in EPS, Thermal Power Plants Kostolac, TPP Kostolac B as a junior engineer. 2003 – Measurement and Protection Engineer TPP Kostolac A. 2007 – High Voltage Engineer TPP Kostolac A. 2015 – Leading Maintenance Engineer for Electrical Plant TPP Kostolac A. 2023 – Head of Technical and Technological Preparation for Maintenance TPP Kostolac A. Author and co-author of several papers at CIGRE and CIRED conferences.*

**Милош Станисављевић (Miloš Stanisavljević)**

Завршена школа: ВШТСС Чачак. Звање: Струковни мастер инжењер електротехнике и рачунарства (300 ЕСПБ). Радно искуство: Фирма: Прим Костолац 01.2016. – PJ за одржавање електромашина и пумпи – Виши сарадник технолог 07.2017. – PJ за одржавање електромашина и пумпи – Шеф погона Фирма: АД ЕПС Београд, Огранак ТЕКО Костолац, ТЕ Костолац А – 03.2018. – Инжењер одржавања у ТЕ Костолац А – 05.2020. – Инжењер за високи напон у ТЕ Костолац А. Аутор/коаутор више радова: Часопис Техника и пракса ВШТСС Чачак, CIRED и CIGRE. Учествовао у реконстукцији и модернизацији више постројења: 0,4 kV постројења, 6 kV постројења, 110 kV постројења и др.

*School: College of Tehnical Vocational Studies in Čačak – VŠTSS Čačak Title: Professional master engineer in electrical engineering and computing (300 ESPB) Work experience: Company: Prim Kostolac – 01.2016. – Work unit for maintenance of electric machines and pumps – Senior associate technologist – 07.2017. – Work unit for maintenance of electric machines and pumps – Head of plant Company: AD EPS Beograd, Branch TE-KO Kostolac, TE Kostolac A – 03.2018. Maintenance engineer at TE Kostolac A – From 05.2020. at the position: Engineer for High voltage at TE Kostolac A. Author/co-author of several papers: Journal of Technology and Practice VŠTSS Čačak, CIRED, CIGRE. Participated in the reconstruction and modernization of several plants: 0.4 kV switchgear, 6 kV switchgear, 110 kV switchgear and others.*

***DOI*: 10.5937/TID25073J**

# ПОБУДНИ СИСТЕМИ ЗА МОТОР-ГЕНЕРАТОРЕ У РХЕ БАЈИНА БАШТА

Душан Јоксимовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-8070-9412**
Ђорђе Стојић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-4716-0488**
Зоран Ћирић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0009-0000-5904-8357**
Славко Веиновић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-7064-976X**
Лука Ивановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-4345-4523**
Илија Класнић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-7908-9110**
Мирослав Павићевић, Душан Тришић, Електропривреда Србије, Република Србија

**Кратак садржај:** Проточна хидроелектрана ХЕ „Бајина Башта” и реверзибилна хидроелектрана РХЕ „Бајина Башта” у Перућцу највећи је хидроенергетски објекат саграђен на реци Дрини. РХЕ „Бајина Башта” има велики значај за електроенергетски систем Србије, због могућности рада у генераторском и моторном режиму чиме повећава флексибилност система са аспекта управљања производњом и потрошњом. Периоди мање потрошње електричне енергије користе се за пуњење горњег акумулационог језера, радом електране у моторном режиму. Када се у систему јави потреба за додатном енергијом, агрегати прелазе на супротан режим, па се испуштањем воде из језера на вишој надморској висини покрећу турбине и ствара електрична енергија. Такође, због своје могућности да брзо стартује и брзо промени режим рада из генераторског у моторни и обрнуто ова електрана може брзо да реагује на поремећаје у систему и замени било који други агрегат у систему Електропривреде Србије. Самим тим и ревитализација РХЕ „Бајина Башта” која треба да продужи животни век агрегата за неколико деценија има велики значај за електроенергетски систем. Током 2024. ревитализован је први агрегат, док је ревитализација другог агрегата предвиђена за 2025. годину.

Електротехнички институт Никола Тесла је у ревитализацији учествовао са заменом побудних система. У оквиру енергетског дела система побуде уграђене су компоненте врхунских перформанси: побудни трансформатори, прекидачи, тиристорски мостови, опрема за демагнетизацију итд. Основу управљачког дела система побуде чине сертификовани INTROL регулатори побуде у оквиру којих су реализовани секвентни аутомати за све режиме рада агрегата: генераторски режим, моторни режим, синхрони старт, електрично кочење и тест за потребе испитивања. INTROL регулатори омогућавају различите режиме регулације: аутоматска регулација напона статора, аутоматска регулација реактивне снаге и аутоматска регулација фактора снаге уз које су реализоване лимитерске функције и стабилизатор електроенергетског система. Тиристорски мостови и регулатори побуде су реализовани редундантно у конфигурацији 1+1. Након уградње и повезивања обављена су подешавања и испитивања система побуде која су показала добре перформансе система чиме систем побуде омогућава поуздан и стабилан рад агрегата у свим режимима рада уз аутоматско ограничење рада унутар граница које су дефинисане погонским дијаграмом.

**Кључне речи:** побудни систем, мотор, генератор, ревитализација.

# EXCITATION SYSTEMS FOR MOTOR-GENERATORS IN THE BAJINA BAŠTA PUMPED-STORAGE HYDROPOWER PLANT

Dušan Joksimović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-8070-9412**
Đorđe Stojić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-4716-0488**
Zoran Ćirić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0009-0000-5904-8357**
Slavko Veinovic, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-7064-976X**
Luka Ivanović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-4345-4523**
Ilija Klasnić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-7908-9110**
Miroslav Pavićević, Dušan Trišić, Elektroprivreda Srbije, Republic of Serbia

**Abstract:** The Bajina Bašta hydropower plant and the Bajina Bašta pumped-storage hydropower plant in Perućac are the largest hydroelectric facilities built on the Drina River. The Bajina Bašta pumped-storage hydropower plant is of great importance to the Serbian power system due to its ability to operate in both generator and motor modes, which increases system flexibility in terms of production and consumption management. Periods of low electricity consumption are used to fill the upper reservoir by operating the plant in motor mode. When the system requires additional energy, the units switch to the opposite mode, and by releasing water from the higher-altitude reservoir, the turbines are driven to generate electricity. Also, due to its ability to quickly start and quickly change the operating mode from generator to motor and vice versa, this plant can quickly respond to system disturbances and replace any other unit in the Elektroprivreda Srbije system. Therefore, the revitalization of the Bajina Bašta pumped-storage hydropower plant, which should extend the lifespan of the units by several decades, is of great importance to the power system. In 2024, the first unit was revitalized, while the revitalization of the second unit is planned for 2025.

The Nikola Tesla Institute participated in the revitalization by replacing the excitation systems. Within the energy part of the excitation system, components with top performance were installed: excitation transformers, switches, thyristor bridges, demagnetization equipment, etc. The basis of the control part of the excitation system consists of certified INTROL excitation regulators, within which sequential automats for all operating modes of the units were implemented: generator mode, motor mode, synchronous start, electric braking, and test for testing purposes. INTROL regulators enable various control modes: automatic stator voltage regulation, automatic reactive power regulation, and automatic power factor regulation, along with which limiter functions and a power system stabilizer were implemented. Thyristor bridges and excitation regulators are implemented redundantly in a 1+1 configuration. After installation and connection, the excitation system was adjusted and tested, which showed good system performance, enabling reliable and stable operation of the units in all operating modes with automatic limitation of operation within the limits defined by the operating diagram.

**Keywords:** excitation system, motor, generator, revitalization.

**Биографије | Biographies**

### Душан Јоксимовић (Dušan Joksimović)

Душан Јоксимовић је стекао звање дипломираног инжењера електротехнике 2005. године и звање магистра техничких наука 2013. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Тренутно је докторанд на Факултету техничких наука, Универзитет у Новом Саду, на Департману за енергетику, електронику и телекомуникације. Од 2006. године је запослен у Електротехничком институту Никола Тесла у Београду у Центру за аутоматику и управљање, где тренутно ради као виши стручни саветник. Поседује богато искуство и стручност у развоју, пројектовању, производњи и испитивању побудних система за синхроне ротационе машине. Такође, има дубоко познавање развоја, пројектовања и производње система за аквизицију података. Има искуство у експерименталном одређивању параметара и карактеристика синхроних генератора.

*Dušan Joksimović received the B.Sc. degree in electrical engineering and the M.Sc. degree in technical sciences from the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Serbia, Power Systems Department, in 2005 and 2013, respectively. He is currently a PhD student at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Serbia, Power, Electronic, and Telecommunication Engineering Department. In 2006, he joined the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, Belgrade, Automation and Control Department, where he is currently a Principal Technical Associate. He has extensive experience and expertise in the development, design, production, and testing of excitation systems for synchronous rotating machines. Additionally, he has deep knowledge in the development, design, and production of data acquisition systems. He has experience in experimentally determining the parameters and characteristics of synchronous generators.*

### Ђорђе Стојић (Đorđe Stojić)

Ђорђе Стојић је рођен 16. новембра 1970. у Београду. Завршио је основне (1994), мастер (1996) и докторске (2004) студије на Електротехничком факултету, Универзитету у Београду. Запослен је од 1994. године у Институту Никола Тесла, Центар за аутоматику и регулацију и ради на развојним и истраживачким пројектима. Области интересовања укључују системе управљања, енергетске претвараче и погоне са мотором на наизменичну струју.

*Đorđe Stojić was born on November 16, 1970 in Belgrade (Serbia). He received BSc (1994), MSc (1996), and PhD (2004) degree from the School of Electrical Engineering, University of Belgrade. As of 1994, he works at the Nikola Tesla Institute, Automation and Control Department, as a research and development engineer. His research interests include control systems, power converters, and AC motor drives.*

### Зоран Ћирић (Zoran Ćirić)

Зоран Ћирић је дипломирани инжењер електротехнике. Завршио је Електротехнички факултет Универзитета у Београду. У претходном периоду у центру за Аутоматику и регулацију у Институту Никола Тесла радио је на пројектима развоја, пројектовања, израде, уградње, испитивања и пуштања у рад система побуда синхроних генератора у термоелектранама и хидроелектранама. Као истраживач је учествовао на више пројеката Министарства науке Републике Србије који се у ширем смислу тичу области регулације електроенергетских система, унапређења енергетске ефикасности, примене уређаја и технологија енергетске електронике итд. У досадашњем раду се бавио и проблематиком електричних заштита генератора у термоелектранама и хидроелектранама, као и проблемима везаним за процес синхронизације генератора на електроенергетску мрежу. Учествовао је и бавио се пројектима развоја интегрисаних система управљања радом малих хидроелектрана. Учествовао је и бави се испитивањима и одређивањем параметара синхроних генератора. Бави се пројектовањем и израдом уређаја за аквизицију сигнала и континулани мониторинг различитих система и постројења у оквиру енергетских објеката.

*Zoran Ćirić is a graduate electrical engineer. He obtained his degree from the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade. In the previous period, at the Automation and Control Department of the Nikola Tesla Institute, he worked on projects involving the development, design, construction, installation, testing, and commissioning of excitation systems for synchronous generators in thermal and hydro power plants. As a researcher, he has participated in several projects funded by the Ministry of Science of the Republic of Serbia, broadly related to the regulation of electric power systems, improvement of energy efficiency, and the application of power electronics devices and technologies. Throughout his career, he has also dealt with issues related to electrical protection of generators in thermal and hydro power plants, as well as challenges associated with the synchronization process of generators to the power grid. He has participated in and contributed to projects focused on the development of integrated control systems for small hydropower plants. In addition, he has been engaged in testing and determining parameters of synchronous generators, as well as in the design and implementation of devices for signal acquisition and continuous monitoring of various systems and installations within power facilities.*

**Славко Веиновић (Slavko Veinović)**

Славко Веиновић, мастер инжењер, од 2009. године, ради у Институту Никола Тесла, Центру за аутоматику и регулацију, са фокусом на системе побуде синхроних машина. Током протеклих 14 година, учествовао је у бројним пројектима реализације побудних система, једносмерних и наизменичних извора напајања, одговоран за хардвер и софтвер регулатора напона и контролу енергетске електронике. Његова истраживачка интересовања укључују регулацију напона и стабилност у електроенергетским системима, управљање претварачима снаге, електрична мерења у енергетској електроници и прелазне појаве у синхроним машинама. Аутор је неколико угледних радова представљених на националним и међународним конференцијама и објављених у међународним часописима. Од 2011. године, укључен је у национални пројекат усмерен на побољшање енергетске ефикасности електрана. 2022. године, посетио је Универзитет Никола Коперник у Пољској, радећи на развоју естиматора флукса за синхроне релуктантне моторе, такође боравио у више наврата у Русији, учествујући у процесу сертификације регулатора побуде INTROL.

*Slavko Veinović, MSc, since 2009, he has been working at the Nikola Tesla Institute, Automation and Control Department, focusing on excitation systems for synchronous machines. Over the past 14 years, he has participated in numerous projects implementing excitation systems, DC and AC power supplies, responsible for hardware and software of voltage regulators and power electronics control. His research interests include voltage regulation and stability in power systems, control of power converters, electrical measurement in power electronics, and transient phenomena in synchronous machines. He is the author of a few distinguished papers presented at national and international conferences and published in international journals. Since 2011, he has been involved in a national project aimed at improving the energy efficiency of power plants. In 2022, he spent time at Nicolaus Copernicus University in Poland, working on flux estimator development for synchronous reluctance motors, and in Russia, participating in the certification of the INTROL excitation regulator.*

**Лука Ивановић (Luka Ivanović)**

Лука је рођен је 1997. године у Ваљеву. Основне и мастер студије завршио је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру Сигнали и системи, где је стекао темељна знања из области обраде сигнала, машинског учења, система управљања и уграђених система. Тренутно је на докторским студијама из области управљања системима и обраде сигнала. Професионалну каријеру започео је праксом у компанији ЕНЕЛ д.о.о, где се бавио *PLC* програмирањем и развојем модела за обуку. Од фебруара 2021. године запослен је у Институту Никола Тесла у Београду као *embedded software* инжењер. У оквиру свог рада учествује у развоју алгоритама за системе побуда синхроних машина, програмирању микроконтролера, индустријској комуникацији и интеграцији нисконапонске електронике за процесну контролу. Поред професионалног ангажмана, активно се бави научним радом, а његови истраживачки интереси укључују примену машинског учења у електроенергетици, обраду сигнала и оптимизацију управљања електроенергетским системима. Аутор је више научних радова, укључујући области моделовања синхроних генератора и стабилности напона у микромрежама са прикљученим ветроелектранама.

*Luka was born in 1997 in Valjevo. He completed his undergraduate and master's studies at the School of Electrical Engineering of the University of Belgrade, majoring in Signals and Systems, where he acquired fundamental knowledge in the field of signal processing, machine learning, control systems and embedded systems. He is currently pursuing his doctoral studies in the field of systems management and signal processing. He started his professional career with an internship at ENEL d.o.o., where he was involved in PLC programming and development of training models. Since February 2021, he has been employed at the Nikola Tesla Institute in Belgrade as an embedded software engineer. As part of his work, he participates in the development of algorithms for excitation systems of synchronous machines, programming of microcontrollers, industrial communication and integration of low-voltage electronics for process control. In addition to his professional engagement, he is actively engaged in scientific work, and his research interests include the application of machine learning in power engineering, signal processing and optimization of power system management. He is the author of several scientific papers, including the areas of synchronous generator modeling and voltage stability in microgrids with connected wind farms.*

**Илија Класнић (Ilija Klasnić)**

Илија Класнић, је завршио основне студије 2012. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, одсек енергетика, модул енергетски претварачи и погони. Мастер студије је завршио 2013. године док је докторску дисертацију под насловом „Естимација и предикција термичког стања ротора хидрогенератора и утицај на граничне вредности реактивних снага" успешно одбранио 29.09.2023. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од фебруара 2013. године запослен је у Електротехничком институту Никола Тесла у Београду где је ангажован на пословима пројектовања, израде и пуштања у рад система побуде синхроних генератора, примопредајним и гаранцијским испитивањима обртних електричних машина, испитивањима енергетских претварача, консултантским услугама у области електроенергетике, термичком моделовању синхроних генератора. Аутор или коаутор је неколико радова публикованих у часописима са импакт фактором и скуповима националног и међународног значаја. Добитник је награде за најбољи рад младог истраживача на секцији Електроенергетика 58, конференције Етран. Секретар је студиојског комитета СТК А1 Обртне електричне машине у оквиру CIGRE Србија, али и редовни члан СТК А1 Обртне електричне машине у оквиру међународне CIGRE.

*Ilija Klasnić completed his bachelor studies in 2012 at the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Department of Power Converters and Drives. He completed master academic studies in 2013 and successfully defended his doctoral dissertation titled "Estimation and Prediction of the Hydrogenerator Rotor Thermal Capability and Influence on the Reactive Power Capabilities" on September 29$^{th}$, 2023, at the Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since February 2013, he has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering in Belgrade, where he has been engaged in the design and commissioning of excitation systems of synchronous generators, site acceptance and performance testing of rotating electrical machines, testing of power converters, consulting services in the field of power engineering, and thermal modeling of synchronous generators. He is the author or co-author of several papers published in journals with an impact factor and at national and international conferences. He received the award for the best paper by a young researcher in the Power Engineering section at the 58$^{th}$ ETRAN Conference. He serves as the secretary of the Study Committee STK A1 Rotating Electrical Machines within CIGRE Serbia, as well as a regular member of the STK A1 Rotating Electrical Machines within International CIGRE.*

***DOI*: 10.5937/TID25078M**

# ПОВЕЋАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ РАДА ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИХ ФИЛТЕРА У ТЕРМОЕЛЕКТРАНАМА – ПРЕГЛЕД ПАРАМЕТАРА И РЕШЕЊА

Зоран Марковић, Институт за нуклеарне науке Винча, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-0553-3263**
Милић Ерић, Институт за нуклеарне науке Винча, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-6850-3112**
Александар Милићевић, Институт за нуклеарне науке Винча, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-4615-8789**
Иван Лазовић, Институт за нуклеарне науке Винча, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-3877-5157**
Предраг Стефановић, Институт за нуклеарне науке Винча, Република Србија
Илија Стевановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-3875-1523**

**Кратак садржај:** Током последњих десет година периодична мерења емисије честица открила су пад ефикасности многих електростатичких филтрера (ЕФ) у оквиру ЕПС-а. ЕФ са плочастим жицама постиже максималну ефикасност уклањања прашине истовременом генерисањем максималног напона варнице преко хомогеног поља брзине димног гаса између плоча. На основу резултата мерења емисије честица, мерења дистрибуције брзине димних гасова у коморама ЕФ и резултата мерења различитих електричних параметара ЕФ, конзорцијум Института за нуклеарне науке Винча и Електротехничког института Никола Тесла успешно је дијагностиковао нове услове рада шест ЕФ у оквиру ЕПС. Детаљне анализе и нумеричке симулације се користе за идентификацију постојећих ограничења карактеристика ЕФ и за истраживање одговарајућих мера за побољшање ефикасности ЕФ. У овом раду су приказани резултати испитивања и оптимизације ЕФ шест термоенергетских блокова у систему ЕПС, спроведених од 2020. године. Конзорцијум је предложио и реконструкцију механичких окретних и пригушних елемената ЕФ и уградњу нових елемената за контролу снаге. Ефикасност примењених мера показује чињеница да су емисије честица сваког оптимизованог ЕФ смањене са преко 60 mg/Nm$^3$ на око 30 mg/Nm$^3$.

**Кључне речи:** електростатички филтер, *CFD* анализа, мерења на објекту, нумерички прорачун, смањење емисије честица.

# TESTING AND OPTIMISATION OF ELECTROSTATIC PRECIPITATIONS OF THERMAL POWER PLANT WITH EPS

Zoran Marković, Institute of nuclear science VINCA, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-0553-3263**
Milić Erić, Institute of nuclear science VINCA, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-6850-3112**
Aleksandar Milićević, Institute of nuclear science VINCA, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-4615-8789**
Ivan Lazović, Institute of nuclear science VINCA, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-3877-5157**
Predrag Stefanović, Institute of nuclear science VINCA, Republic of Serbia
Ilija Stevanović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-3875-1523**

**Abstract:** Over the past ten years periodic measurements of particulate emissions have revealed a decline in the efficiency of many electrostatic precipitators (ESPs) within EPS. The plate-wire ESP achieves maximum efficiency by simultaneously generating the maximum spark voltage over a homogeneous velocity field of the

flue gas between the plates. Based on results of measurements of particulate emissions, flue gas velocity distribution in the ESP chambers and various electrical parameters of the ESP, consortium consisting of the Vinča Institute of Nuclear Sciences and the Nikola Tesla Institute successfully diagnosed new working conditions of the six ESP's within EPS. Detailed analyses and numerical simulations are used to identify the existing limitations of ESP characteristics and to investigate suitable measures to improve ESP efficiency. This paper presents the results of the testing and optimisation of the ESP of six thermal power units, carried out from 2020 onwards. The consortium proposed both the reconstruction of the mechanical turning and damping elements of the ESP and the installation of new power control elements. The effectiveness of the applied measures is demonstrated by the fact that the particulate emissions of each optimised ESP were reduced from over 60 mg/Nm$^3$ to around 30 mg/Nm$^3$.

**Keywords:** electrostatic filter, CFD analysis, measurements on the object, numerical calculation, particle emission reduction.

**Биографије | Biographies**

**Зоран Марковић (Zoran Marković)**

Зоран Марковић је рођен 6. јула 1968. године у Ваљеву. На Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду је дипломирао 1994., магистрирао 2005. а докторску дисертацију одбранио 2016. год. Звање Научни сарадник стекао 2018, а виши научни сарадник 2023. године. Запослен у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча", где је активно учествовао у реализацији већег броја домаћих и међународних научно-истраживачких и пројеката сарадње са привредом. Учествовао је у изради Прве националне комуникације за Републику Србију према оквирној конвенцији Уједињених Нација о климатским променама. Аутор је већег броја научних и стручних радова, два патента, учесник више међународних конференција и стручних семинара. Учествовао је у бројним термотехничким испитивањима на термоенергетским објектима у земљи и иностранству. Од 2012. године је члан комитета Акредитационог тела Србије за за одлучивање о додељивању акредитације лабораторијама за еталонирање, за физичке величине температура и влажност. Заменик је руководица Одељења за екологију испитне лабораторије Института Винча. Од 2022. године предавач је у Високој школи струковних студија Ваздухопловне академије за предмете Погон Летелица, Конструкције турбинских мотора и Системи турбинских мотора.

*Zoran Marković was born on 6 July 1968 in Valjevo. He graduated from the Department of Aeronautical Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering of the University of Belgrade in 1994, received his Master's degree in 2005 and defended his doctoral thesis in 2016. In 2018 he was awarded the title of Research Associate and in 2023 Senior Research Associate. Employed in the Laboratory for Thermal Engineering and Energy Engineering of the Institute of Nuclear Sciences "Vinča", where he was actively involved in the implementation of a large number of national and international scientific research and cooperation projects with industry. He was involved in the preparation of the First National Communication for the Republic of Serbia under the United Nations Framework Convention on Climate Change. He is the author of numerous scientific and technical papers and two patents. He has participated in numerous thermotechnical tests at thermal power plants in the country and abroad. He is the Deputy Head of the Department of Ecology of the Vinča Institute's Testing Laboratory Since 2022, he has been a lecturer at the College of Professional Studies of the Aviation Academy for the subjects of Aircraft Propulsion, Turbine Engine Structures and Turbine Engine Systems.*

**Милић Ерић (Milić Erić)**

Дипломирао је на Машинском факултету Универзитета у Београду на Одсеку за термоенергетику. Дипломски рад из предмета Парне турбине са темом „Одређивање критичног броја обртаја ротора парних турбина". Магистарску тезу „Прилог отклањању пулзативног сагоревања у енергетским котловима" успешно је одбранио такође на Машинском факултету у Београду, на Одсеку за термоенергетику. Докторску тезу „Процеси сушења лигнита са великим садржајем влаге у непокретном и флуидизованом слоју" одбранио је на Машинском факултету у Београду, на Одсеку за термомеханику. Запослен је у Лабораторији за термотехнику и енергетику, Института „Винча" од 2001. године. Учествовао је на више пројеката Лабораторије за термотехнику и енергетику из области енергетске ефикасности и технолошког развоја. Досадашњи рад може се сврстати у следеће научно-истраживачке и стручне области: 1. Сагоревање у флуидизованом слоју, 2. Сагоревање обновљивих извора енергије, 3. Испитивање термоенергетских постројења у циљу смањења аерозагађења, 4. Испитивање и повећање ефикасности рада термоенергетских постројења, 5. Примена плазма технологија у енергетици, 6. Смањење аерозагађења унапређењем ефикасности електростатичких филтера, експлоатационих процеса и повећањем квалитета горива. Од 2009. године руководи Одељењем за екологију које се бави испитивањима из области мерења емисије загађујућих материја у ваздух. Члан је комисије за стандарде и сродне документе KS H146, Квалитет ваздуха, Института за стандардизацију Србије.

*He graduated from the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Belgrade, at the Department of Thermal Energy Engineering. At the same faculty, he also defended his master's thesis "On the elimination of pulsating combustion in power plant boilers" and his PhD thesis "Drying processes of lignite with high moisture content in fixed and fluidized bed". Since 2001 he has been working in the Laboratory of Thermal Engineering and Energy at the Vinča Institute. He has participated in several projects in the field of energy efficiency and technological development. His previous work can be divided into the following scientific research areas: 1. Fluidized bed combustion, 2. Combustion of renewable energy sources, 3. Testing of thermal power plants with a view to reducing air pollution, 4. Testing and increasing the efficiency of thermal power plants, 5. Application of plasma technologies in the energy sector, 6. Reducing air pollution by improving ESP, operating processes and fuel quality. Since 2009, he has headed the Ecology Department, which deals with tests in the field of measuring pollutant emissions into the air. He is a member of the Committee for Standards and Related Documents KS H146, Air Quality, of the Institute for Standardization of Serbia.*

**Александар Милићевић (Aleksandar Milićević)**

Др Александар Милићевић је рођен 1987. године у Александровцу, Република Србија. Запослен је као виши научни сарадник у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча" – Националног института Републике Србије, Универзитета у Београду. Докторску дисертацију под насловом „Математичко моделирање и оптимизација процеса у ложишту на спрашени угаљ при директном косагоревању са биомасом" одбранио је 2018. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. Његова научна истраживања усмерена су на математичко моделирање и развој софтвера (укључујући моделе вештачке интелигенције) за симулацију, анализу и оптимизацију процеса (ко)сагоревања горива у енергетским системима, у циљу повећања енергетске ефикасности, смањења емисије загађујућих материја и подршке трансферу технологије. Члан је Одељења за екологију (акредитоване испитне лабораторије у оквиру Лабораторије за термотехнику и енергетику), која се бави испитивањима из области мерења емисије загађујућих материја у ваздух.

*Dr. Aleksandar Milicevic was born in 1987 in Aleksandrovac, Republic of Serbia. He is a Senior Research Associate at the Laboratory for Thermal Engineering and Energy, "Vinča" Institute of Nuclear Sciences – National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade. He received his Ph.D. in 2018 with the*

*thesis entitled "Mathematical modelling and optimization of processes in a pulverized coal-fired furnace during direct co-firing with biomass", at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade. His research focuses on mathematical modeling and software development for simulation, analysis and optimization of (co)combustion of fuels in energy systems, in order to improve energy efficiency, reduce pollutants emission and support technology transfer. He is a member of the Department for Ecology (an accredited testing laboratory within the Laboratory for Thermal Engineering and Energy), which specializes in testing and measurement of air pollutant emissions.*

**Иван Лазовић (Ivan Lazović)**

Др Иван Лазовић је виши научни сарадник у Институту за нуклеарне науке Винча. Поред научног рада, у Институту руководи Центром техничка оператива и Центром за оцењивање усаглашености. Докторирао је 2020. године на Машинском факултету Универзитета у Београду (смер Термомеханика). Његов научни рад усмерен је на техничко-технолошке науке, са фокусом на енергетску ефикасност, квалитет ваздуха и мерење аерозагађења. Учествовао је у бројним националним и међународним научноистраживачким пројектима, укључујући оне финансиране кроз програме *Horizon* 2020 и *Horizon Europe*, билатералне сарадње, као и пројекте Зеленог фонда РС и UNICEF-а. Носилац је три регистрована национална патента из области развоја мерне опреме за квалитет ваздуха и испитивање гасова. Министарство науке га је 2024. године рангирало међу 10% најуспешнијих истраживача у области техничко-технолошких и биотехничких наука.

*Dr. Ivan Lazović is a Senior Research Associate at the Vinča Institute of Nuclear Sciences, where he leads the Centre for Technical Operations and the Center for Science and Technology Compliance. He obtained his PhD in 2020 from the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade (Thermomechanics). His research focuses on technical and technological sciences, particularly energy efficiency, air quality, and air pollution measurement. He has participated in numerous national and international research projects, including those funded by Horizon 2020 and Horizon Europe programmes, bilateral collaborations, as well as projects of the Green Fund of Serbia and UNICEF. He holds three registered national patents in the field of air quality monitoring and gas testing equipment. In 2024, the Ministry of Science ranked him among the top 10% of researchers in technical-technological and biotechnical sciences.*

**Предраг Стефановић (Predrag Stefanović)**

Др Предраг Љ. Стефановић, научни саветник Института за нуклеарне науке Винча, члан Главног одбора (1993–2002), потпредседник (2002–2022) и председник Друштва термичара Србије од децембра 2022. Члан националног уређивачког одбора Међ. часописа THERMAL SCIENCE. Контакт подаци: ORCID 0009-0000-5529-725X. Дипломирао/магистрирао/докторирао на Машинском факултету у Београду. Бави се експериментално-теоријским истраживања високотемпературских вишефазних вишекомпоненетних турбулентних токова са међуфазним преносом количине кретања, топлоте и материје и примени у развоју нових процеса, технологија и материјала, као и апликативним истраживањима за потребе електропривреде у области унапређења енергетске ефиксаности и заштите животне средине/климатских промена.

*Dr. Predrag Lj. Stefanović, research professor of the Institute of Nuclear Sciences "Vinča", member of the Main Board (1993–2002), Vice president (2002–2022) and President of the Society of Thermal Engineers of Serbia since December 2022. Member of the national editorial board of the International Journal THERMAL SCIENCE Contact information: ORCID 0009-0000-5529-725X. Graduated/received Master of Science (MSc) degree and PhD at the Faculty of Mechanical Engineering Belgrade University. Experimental-theoretical research of high-temperature multicomponent multiphase turbulent flows with interphase transfer of the of momentum, heat and matter with the application in the development of new processes, technologies and materials, as well as applied research for the needs of the power industry in the field of improving energy efficiency and protection environment/climate change.*

**Илија Стевановић (Ilija Stevanović)**

Илија Стевановић је рођен 1963. године у Брчком, Босна и Херцеговина. Електротехнички факултет, смер електроенергетски, завршио је 1987. године у Тузли. После завршетка факултета до 1992. године је радио на Електротехничком факултету у Тузли као асистент на предметима „Електричне машине", „Испитивања електричних машина" и „Електромагнетика". Постдипломске студије, смер „Електричне машине", завршио је 1992. године на Електротехничком факултету у Београду. Од 1994. године је запослен у Електротехничком институту Никола Тесла у Центру за аутоматику и регулацију. Професионално ангажовање му је везано за истраживање, развој, пројектовање, испитивање, израду и пуштање у рад: система побуде синхроних генератора и мотора, електричних заштита, уређаја за аутоматизацију малих хидроелектрана и напајање и регулацију напона електростатичких филтера, као и специјална испитивања електричних машина. Аутор је више десетина стручних радова објављених у домаћим и међународним часописима и научним скуповима.

*Ilija Stevanović was born in 1963 in Brčko, Bosnia and Herzegovina. He graduated from the Faculty of Electrical Engineering, majoring in power engineering, in 1987 in Tuzla. After graduation, he worked at the Faculty of Electrical Engineering in Tuzla until 1992 as an assistant on the subjects "Electrical machines", "Testing of electric machines" and "Electromagnetics". In 1992, he completed his post-graduate studies in the field of "Electrical Machines" at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade. Since 1994, he has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering in the Automation and Control Department. His professional engagement is related to research, development, design, testing, manufacturing and commissioning: excitation systems for synchronous generators and motors, electrical protection, devices for automation of small hydroelectric power plants and power supply and voltage regulation of electrostatic filters, as well as special tests of electrical machines. He is the author of dozens of professional papers published in domestic and international journals and scientific meetings.*

***DOI*: 10.5937/TID25083O**

# АНАЛИЗА ГАЛВАНСКОГ УТИЦАЈА ТРАНСФОРМАТОРСКЕ СТАНИЦЕ НАПОНСКОГ НИВОА 220/66/11 KV НА МЕТАЛНИ ЦЕВОВОД ПРИЛИКОМ ЗЕМЉОСПОЈА

Стефан Обрадовић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
Маја Грбић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-6668-6736**
Горан Леповић, Siemens доо Београд, Република Србија

**Кратак садржај:** Циљ рада је анализа галванског утицаја између уземљивачке мреже трансформаторске станице напонског нивоа 220/66/11 kV и металног цевовода који се налази у близини, приликом земљоспоја у трансформаторској станици. У раду је извршена процена потенцијалних ризика по безбедност особља и сигурност изолационог система цевовода и изложене су потребне мере за елиминисање наведених ризика. Цевовод пролази на растојању од приближно 40 m од трансформаторске станице. Рад се заснива на анализи једнофазног земљоспоја у трансформаторској станици и његовог утицаја на цевовод. Приликом земљоспоја јављају се повишени напони између цевовода и околног земљишта, што доводи до појаве повишеног потенцијала на изолационом систему цевовода као и појаве напона додира. Приликом анализе галванског утицаја од највеће важности је одређивање напона цевовода према референтној земљи. За заштиту особља, напони додира морају бити мањи од дозвољених вредности датих у стандардима EN 50443 и IEEE 80. Стандардом IEEE 80 прописана је строжа граница од 235 V, добијена за трајање квара од 0,35 s. За заштиту цевовода, прописана је граница од 2000 V која важи како за напоне цевовода према земљи, тако и за напоне на изолационим умецима цевовода. Напон на изолацији цевовода рачунат је на целој дужини, а резултати показују да је напон на изолацији у близини трансформаторске станице незнатно испод границе од 2000 V прописане стандардом EN 50443. Напони на изолационим умецима су такође испод дозвољене границе од 2000 V. Напони додира, који представљају ризик за особље, рачунати су на целој дужини цевовода. У близини трансформаторске станице, вредности напона додира прекорачују граничну вредност од 235 V дефинисану стандардом IEEE 80. У раду је одређена зона у којој вредности напона додира премашују дозвољене вредности, при чему је максимална добијена вредност напона додира износила 2006 V. Ова зона је одређена на основу локација мерних станица дуж цевовода, где је ризик од електричног удара највећи. Како би се елиминисао ризик од опасних напона додира, у раду је предложена изолација стајалишта постављањем изолационог слоја. Како би се смањили напони додира, неопходно је постављање слоја од изолационог материјала чија је специфична електрична отпорност 10000 Ωm а дебљина слоја најмање 80 mm. Изолациони слој мора бити тако постављен да онемогућава додир мерних станица са места изван изолационог слоја. Уважавањем изолационог слоја, напони додира су поново прорачунати а резултати су показали да су вредности испод дозвољених 235 V, чиме је потврђена безбедност особља. Добијени резултати указују на потребу за редовним праћењем и применом мера за заштиту особља и изолације цевовода од опасних галванских утицаја који се јављају приликом земљоспоја.

**Кључне речи:** галвански утицај, интерференција, трансформаторска станица, земљоспој, напон додира.

# ANALYSIS OF THE CONDUCTIVE COUPLING BETWEEN 220/66/11 KV SUBSTATION AND NEARBY PIPELINE DURING EARTH FAULT

Stefan Obradović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
Maja Grbić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-6668-6736**
Goran Lepović, Siemens doo Belgrade, Republic of Serbia

**Abstract:** The aim of this paper is to analyze the conductive coupling between the earthing grid of the 220/66/11 kV substation and the nearby underground pipeline, under fault conditions. It evaluates the potential risks to personnel safety, pipeline integrity, and outlines necessary mitigation measures. The pipeline passes approximately 40 m from the substation. The study is focused on analyzing the effects of a single-phase-to-earth fault at the substation and its impact on the pipeline. Under fault conditions, high voltages can appear between the pipeline and surrounding soil, which can lead to coating stress voltages and touch voltages. To evaluate conductive interference, the primary concern is the voltage to earth of the pipeline. For personnel protection, the interference voltage shall not exceed the values stated in EN 50443 and IEEE 80. The latter specifies a stricter limit of 235 V for a fault duration of 0.35 s. For pipeline protection, the interference voltage shall not exceed 2000 V, both for the pipeline system relative to earth and across insulating joints. Coating stress voltages were calculated along the pipeline, with results showing that the voltage in the vicinity of the substation is just below the 2000 V limit specified by EN 50443. The calculated voltages across the insulating joints are also below the 2000 V limit. Touch voltages, which can pose a significant safety risk to personnel, were calculated along the pipeline. In the vicinity of the substation, touch voltage values exceed the IEEE 80 limit of 235 V. The study identified a zone where touch voltages exceed this threshold, with a maximum of 2006 V. This zone corresponds to the locations of above-ground appurtenances where the risk of electric shock is highest. To address the risk posed by touch voltages, the insulation of the operation location with sufficient insulating material is recommended. A surface layer of at least 80 mm of insulating material with a specific electrical resistivity of 10,000 Ωm is required to mitigate the risks effectively. This insulation shall ensure that the appurtenances can only be touched by standing on the insulating layer, thus reducing the risk of electric shock. After applying the recommended surface layer, touch voltages were recalculated, and the results showed that they fall below the 235 V limit, ensuring personnel safety. The results underline the need for regular monitoring and implementation of safety measures to protect both personnel and pipeline infrastructure from the hazardous effects of fault-induced conductive interference.

**Keywords:** conductive coupling, interference, substation, pipeline, earth fault, touch voltage.

**Биографије | Biographies**

**Стефан Обрадовић (Stefan Obradović)**

Стефан Обрадовић је рођен 1993. године у Ваљеву. Основне и мастер студије завршио је 2016. и 2017. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2017. запослен је у Електротехничком институту Никола Тесла, у Центру за електроенегетске објекте. Током досадашњег рада примарно се бавио испитивањима на терену и изради извештаја о испитивањима система уземљења, громобранске заштите и електричних инсталација ниског напона електроенергетских објеката. Учествовао је у изради више елабората из области електромагнетне интерференције.

*Stefan Obradović was born in 1993 in Valjevo. He received a BSc and MSc degree in 2016 and 2017, respectively, from School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2017, he has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, at the Power Facilities Department. Throughout his career, he has primarily been engaged in the field of testing and the preparation of reports on the testing of grounding systems, lightning protection, and low-voltage electrical installations in electric power facilities. He has participated in the preparation of several studies on electromagnetic interference.*

**Маја Грбић (Maja Grbić)**

Др Маја Грбић је рођена 1985. године у Београду. Основне, мастер и докторске академске студије завршила је 2010, 2012. и 2021. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2010. године запослена је у Електротехничком институту Никола Тесла, у Центру за електроенергетске објекте. Током досадашњег рада примарно се бавила истраживањима у области електромагнетских поља. Учествовала је у изради више од 50 студија, пројеката и елабората, 65 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, као и преко 1200 извештаја о испитивањима. Од 2018. године обавља функцију руководиоца акредитоване Лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Објавила је 88 радова у националним и међународним часописима и зборницима са конференција, од којих 62 као први аутор. Награђена је за најбоље радове приказане на конференцијама CIRED Србија (2012. и 2022. године) и CIGRE Србија (2019, 2021. и 2023. године). Добитница је награде Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад и награде Привредне коморе Србије за најбољу докторску дисертацију. Чланица је међународних удружења CIGRE и IEEE, као и српских националних комитета CIGRE и CIRED.

*Dr. Maja Grbić was born in Belgrade in 1985. She received a BSc, MSc and a PhD degree in 2010, 2012 and 2021, respectively, from School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2010 she has been employed at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, at the Power Facilities Department. Her primary field of interest has been research in the area of electromagnetic fields. She has participated in over 50 major projects and studies, 65 expert evaluation studies regarding influence of electromagnetic field sources on the environment, as well as in the preparation of over 1200 testing reports. In 2018 she has been appointed head of the accredited Laboratory for electromagnetic field testing. She has published 88 papers in national and international journals and conference proceedings, 62 of which as the main author. She was awarded for the best papers presented at CIRED Serbia (2012 and 2022) and CIGRE Serbia (2019, 2021 and 2023) conferences. She was awarded by the Belgrade Chamber of Commerce for the best master's dissertation and by the Serbian Chamber of Commerce for the best doctoral dissertation. She is a member of CIGRE and IEEE as well as Serbian national CIGRE and CIRED Committees.*

**Горан Леповић (Goran Lepović)**

Горан Леповић је рођен 1989. године у Пожаревцу. Основне и мастер академске студије завршио је 2012. и 2014. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 2015. године запослен је у *Siemens doo* Београд и од тада, претежно се бавио софтверима и студијама анализа електроенергетских система. Током ових година, примарно се бавио студијама координације изолације. Од 2022. године Горан обавља функцију руководиоца пословне јединице Grid Software у оквиру бизниса Smart Infastructure Сименса у Београду.

*Goran Lepović was born in 1989 in Požarevac. He completed his undergraduate and master's studies in 2012 and 2014 at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade. Since 2015, he has been employed by Siemens doo Belgrade and since then, he has been mainly involved in software and studies of power system analysis. During these years, he has primarily been involved in studies of insulation coordination. Since 2022, Goran has been the head of the Grid Software business unit within the Smart Infrastructure business of Siemens in Belgrade.*

***DOI*: 10.5937/TID25086R**

# РАЗВОЈ СЕНЗОРНИХ ПОЛИУРЕТАНСКИХ КОМПОЗИТА ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО ПАКОВАЊЕ ХРАНЕ

Иван Ристић, Технолошки факултет у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-4470-4929**
Марија Крстић, Технолошки факултет у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду, Република Србија

**Кратак садржај:** Полимерни сензори представљају перспективну класу материјала за детекцију хемијских и физичких промена у окружењу, захваљујући својој флексибилности, лакој обради и могућности интеграције функционалних група. У овом раду развијена је иновативна биоразградива амбалажа са напредним сензорним својствима, заснована на полианилину као активном сензорном једињењу и полиуретанској матрици. Полимерна матрица омогућава хомогену дисперзију полианилина, чије проводне и оптичке особине се мењају у присуству гасова који настају током кварења хране. Овај механизам омогућава континуирану и поуздану визуелну индикацију свежине производа у реалном времену. Поред тога, полиуретанска матрица је функционализована самолечивим својствима, чиме се продужава век трајања амбалаже и спречавају оштећења која би могла утицати на сензорну ефикасност. ФТИР спектроскопијом потврђена је структура полианилина и полиуретанске матрице, док је ДСЦ анализа показала да се избором одговарајућих компонената могу прилагодити термичка својства композита. Извршена је детаљна карактеризација сензорне осетљивости полианилина на различите концентрације циљних гасова, као и процена стабилности и репродуктивности сензорног одговора. Добијени резултати потврђују да развијени композит има велики потенцијал за примену у интелигентном паковању хране, доприносећи унапређењу безбедности и смањењу отпада од кварљивих производа.

**Кључне речи:** полимерни сензори, интелигентно паковање, полианилин, самолечиви полиуретани.

# DEVELOPMENT OF SENSORY POLYURETHANE COMPOSITES FOR INTELLIGENT FOOD PACKAGING

Ivan Ristić, Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad
**ORCID: 0000-0002-4470-4929**
Marija Krstić, Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad

**Abstract:** Polymeric sensors represent a promising class of materials for detecting chemical and physical changes in the environment due to their flexibility, ease of processing, and ability to integrate different functional groups. In this study, an innovative biodegradable packaging material with advanced sensory properties was developed, based on polyaniline as the active sensing component and a polyurethane matrix. The polymer matrix enables homogeneous dispersion of polyaniline, whose conductivity and optical properties change in the presence of gases released during food spoilage. This mechanism allows for continuous and reliable real-time visual indication of food freshness. Additionally, the polyurethane matrix is functionalized with self-healing properties, extending the packaging's durability and preventing damage that could affect its sensing efficiency. FTIR spectroscopy confirmed the structural integrity of both polyaniline and the polyurethane matrix, while DSC analysis demonstrated that the thermal properties of the composite can be tailored by selecting appropriate components. A detailed characterization of polyaniline's sensing sensitivity to different gas concentrations was performed, along with an assessment of the stability and reproducibility of the sensor response. The obtained results confirm that the developed composite has great potential for application in intelligent food packaging, contributing to improved food safety and reduced waste of perishable products.

**Keywords:** polymeric sensors, intelligent food packaging, polyaniline, self-healing polyurethane.

**Биографије | Biographies**

## Иван Ристић (Ivan Ristić)

Др Иван Ристић је ванредни професор на Технолошком факултету у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду. Његова област истраживања обухвата синтезу различитих полимерних материјала, укључујући полиестере и био-полимере, паметне материјале и карактеризацију полимера. Ментор је четири одбрањене докторске дисертације из области био-мултифункционалних материјала. Др Ристић је руководилац или учесник на више националних и међународних истраживачких пројеката. Активно сарађује са водећим међународним научним институцијама, укључујући *Kansas Polymer Research Center*, *University of Pittsburgh* (*SAD*), *Institute of Macromolecular Chemistry* (*Czech Academy of Sciences*, *Prague*), *Charles University* (*Prague*), *University of Westminster* (*UK*) и *National Interuniversity Consortium of Materials Science and Technology* (*Italy*), међу осталима. Др Ристић је уредник/рецензент у бројним научним часописима. Тренутно обавља функцију председника Секције за инжењерство материјала Хемијског друштва Војводине – Српског хемијског друштва. Аутор је 80 научних радова индексираних на *SCI* листи, са преко 1.500 цитата и *h*-индексом 24. Поред тога, објавио је две књиге о биоразградивим материјалима и полиуретанима и аутор је четири национална патента.

*Dr. Ivan Ristić is an Associate Professor at the Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad. He is an expert in the synthesis of various polymer materials, including polyesters and bio-based polyurethanes. His research focuses on polymer synthesis, biodegradable polymers, smart materials, and polymer characterization. He has supervised four completed PhD theses in the field of bio-based multifunctional materials. Dr. Ristić has served as the principal investigator or participant in multiple national and international research projects. He actively collaborates with leading international scientific institutions, including the Kansas Polymer Research Center, University of Pittsburgh (USA), Institute of Macromolecular Chemistry (Czech Academy of Sciences, Prague), Charles University (Prague), the University of Westminster (UK), and the National Interuniversity Consortium of Materials Science and Technology (Italy), among others. Dr. Ristić has been an editor and reviewer for numerous scientific journals. He currently serves as the President of the Section for Materials Engineering within the Chemical Society of Vojvodina – Serbian Chemical Society. He is the author of 80 scientific papers indexed in the SCI list, with over 1,500 citations and an h-index of 24. In addition, he has published two books on biodegradable materials and polyurethanes and holds four national patents.*

## Марија Крстић (Marija Krstić)

Марија Крстић, маст. инж. технологије, је истраживач сарадник на Технолошком факултету у Новом Саду, Универзитета у Новом Саду. Њено поље истраживања фокусира се на синтезу полимерних материјала, хемију макромолекула и карактеризацију полимера. Оспособљена је за рад на уређајима за термичку, структурну и механичку карактеризацију полимера. Марија Крстић је студент треће године докторских студија на Катедри за инжењерство материјала Технолошког факултета у Новом Саду. Одбранила је два мастер рада, на Технолошком факултету у Лесковцу, Универзитета у Нишу и на Природно-математичком факултету, Универзитета у Приштини-Косовској Митровици. На свим нивоима студија била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, као и Фонда за младе таленте. Добитница је годишње награде Српског хемијског друштва, као и награде за студента генерације Природно-математичког факултета за 2019. годину. Марија Крстић је аутор и коаутор 10 научних радова у међународним и домаћим часописима и учествовала је на многим међународним и домаћим конференцијама. Учесник је у реализацији 1 националног и 4 међународна пројекта.

*MSc Marija Krstić is Research Associate at Faculty of Technology Novi Sad, University of Novi Sad. Her field of research focuses on the synthesis of polymeric materials, macromolecule chemistry and polymer characterization. She is trained to work on devices for thermal, structural and mechanical characterization of polymers. Marija Krstić is a third-year PhD student at the Department of Materials Engineering at the Faculty of Technology Novi Sad. She defended two master's theses, at the Faculty of Technology in Leskovac, University of Niš, and at the Faculty of Sciences and Mathematics, University of Priština-Kosovska Mitrovica. At all levels of study, she was a fellow of a scholarship from the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, as well as from the Fund for Young Talents. She is the winner of the annual award of the Serbian Chemical Society, as well as the award for the student of the generation of the Faculty of Sciences and Mathematics for 2019. Marija Krstić is author and co-author of 10 scientific papers in international and national journals and she participated in many international and domestic conferences. She is a participant in the realization of 1 national, and 4 international projects.*

***DOI*: 10.5937/TID25089A**

# ИНОВАТИВАН ДИЗАЈН ИНСТРУМЕНАТА ЗА СИСТЕМЕ СА ПРОМЕНЉИВОМ УЧЕСТАНОШЋУ НА УЛАЗУ

Борис Антић, Smart Grid Solutions doo, Република Србија
**ORCID: 0000-0003-2504-9479**

**Кратак садржај:** Рад приказује неке практичне аспекте примене умножавања учестаности на синхронизацију инструмената у енергетској мрежи која ради на непознатој учестаности или у режиму константних малих помераја учестаности. Коло које реализује множење намењено је да замени интерни генератор такта у уређају и да гарантује фиксан предефинисан (програмабилан) број одмерака по периоди улазног сигнала. Ово спречава цурење спектра и друге проблеме повезане са израчунавањем спектра на основу временских одмерака употребом уобичајених временско-фреквенцијских трансформација. На тај начин, архитектура уређаја који примењује ово решење може бити поједностављена кроз елиминацију дигиталних кола за различита филтрирања и нумеричке корекције. Приказане су две могуће архитектуре за реализацију уређаја, као и ограничења неопходна да се обезбеди адекватно позиционирање хармоника дуж фреквенцијске осе.

**Кључне речи:** електрична мрежа, дизајн чипа, променљива учестаност, тактовање.

# INNOVATIVE INSTRUMENT DESIGN FOR SYSTEMS WITH VARYING FREQUENCY INPUTS

Boris Antić, Smart Grid Solutions doo, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0003-2504-9479**

**Abstract:** The paper provides some practical aspects of frequency multiplication applied to the synchronization of power grid instruments operating at unknown frequency or in a regime with a constant small frequency drifts. The circuit that realizes the multiplication is intended to replace the device's internal clock and to guarantee fixed pre-defined (programmable) number of samples per period of the input signal. This prevents spectrum leakage and other issues associated with spectrum calculations from time samples using common time-frequency transformations. Consequently, the architecture of the device implementing this solution can be simplified through elimination of digital circuits for various filtering and numerical corrections. Two possible architectures for the realization of this device are presented and the restrictions necessary to ensure adequate positioning of harmonics along the frequency axis are shown.

**Keywords:** Power grid, chip design, varying frequency, clocking.

**Биографија | Biography**

## Борис Антић (Boris Antić)

Проф. др Борис Антић ради на Факултету техничних наука у Новом Саду од 1999. године на Катерди за електрична мерења, Департмана за Енергетику, електронику и телекомуникације. Добитник је престижне стипендије Немачког друштва за академску размену (DAAD) у периоду 2001/2002 године. Аутор је више радова на домаћим и међународним конференцијама и страним часописима, а објавио је и два уџбеника. Истраживачка каријера је усмерена ка областима електричних мерења, телекомуникација и осматрања Земље. Познавалц је европских регулатива и процедура. Од 2008. године до данас активно је учествовао на више ТЕМПУС пројеката (USP-OF, TIU, KNOWTS, STREV), ERASMUS+ пројеката (NANO-THINK), FP7 пројеката (AgroSense, BalkanGeoNet, EOPower, IASON, InnoSense, Fractals) и H2020 пројеката (SMART4ALL). 2014. године радио је као спољни сарадник Заједничког истраживачког центра (JRC) Европске комисије и национална контакт особа за научну подршку имплементацији Дунавске стратегије и Дунавске референтне инфраструктуре просторних података и сервиса (DRDSI). Био је први руководилац Центра за трансфер технологија Универзитета у Новом Саду. У компанији Smart Grid Solutions доо Нови Сад обавља функцију генералног директора.

*Prof. Dr. Boris Antic works at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad since 1999 at the Department of Electrical Measurements, Department of Energy, Electronics and Telecommunications. He is the recipient of the prestigious scholarship of the German Academic Exchange Service (DAAD) in the period 2001/2002. He is the author of several papers at domestic and international conferences and foreign journals, and has published several textbooks. His research career is focused on the fields of electrical measurements, telecommunications and Earth observation. He is well versed in European regulations and policies. Since 2008 to the present, he has actively participated in numerous TEMPUS projects (USP-OF, TIU, KNOWTS, STREV), ERASMUS+ projects (NANO-THINK), FP7 projects (AgroSense, BalkanGeoNet, EOPower, IASON, InnoSense and Fractals) and H2020 projects (SMART4ALL). In 2014, he worked as an external associate of the Joint Research Centre (JRC) of the European Commission and the national contact person for scientific support for the implementation of the Danube Strategy and the Danube Reference Infrastructure for Spatial Data (DATA and services). He was the first head of the Technology Transfer Centre at the University of Novi Sad. He holds the position of General Director of Smart Grid Solutions doo Novi Sad.*

***DOI*: 10.5937/TID25091M**

# МЕТОДА МЕРЕЊА ФАЗЕ ЗАСНОВАНА НА ТАЈМЕРСКИМ МОДУЛИМА

Сања Мандић, Факултет техничких наука Нови Сад, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-9156-4471**
Драган Пејић, Факултет техничких наука Нови Сад, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-8380-018X**
Ђорђе Новаковић, Факултет техничких наука Нови Сад, Република Србија
Марјан Урекар, Факултет техничких наука Нови Сад, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-6089-9148**
Платон Совиљ, Факултет техничких наука Нови Сад, Република Србија
**ORCID: 0000-0002-3274-9337**

**Кратак садржај:** Овај истраживачки рад описује методу мерења фазе која користи тајмерске модуле и приказује имплементацију одговарајућег система за мерење. Главна мотивација за ово истраживање потиче из потребе за прецизним и тачним мерењем разлике фаза између напонских и струјних сигнала са двоканалног извора када долази до деградације фазе у излазном степену извора.

Да би се одредила одступања између задатих и измерених фазних углова напона и струје на излазу двоканалног извора, мерење фазе се постиже употребом тајмерских модула. Ова метода захтева конвертовање релативно високих напонских и струјних сигнала у периодичне поворке четвртки који су компатибилни за рад са тајмерским модулима, а ова конверзија врши се употребом компаратора.

Иако су тајмерске методе изузетно ефикасне у мерењу временских интервала, њихова примена у мерењу фазе је ретка због неколико значајних изазова који се јављају током конверзије аналогног сигнала у дигиталне сигнале, укључујући утицај шума присутног у аналогним сигналима, напона офсета компаратора и асиметричних нископропусних филтера који су дизајнирани за сузбијање шума. У раду је предложен систем за мерење фазе који пружа решења за наведене проблеме.

**Кључне речи:** мерење фазе, мерење времена, тајмерски модули, микроконтролер, двоканални извор.

# PHASE MEASUREMENT METHOD BASED ON TIMER MODULES

Sanja Mandić, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-9156-4471**
Dragan Pejić, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-8380-018X**
Đorđe Novaković, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia
Marjan Urekar, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0002-6089-9148**
Platon Sovilj, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Republic of Serbia
**ORCID:** 0000-0002-3274-9337

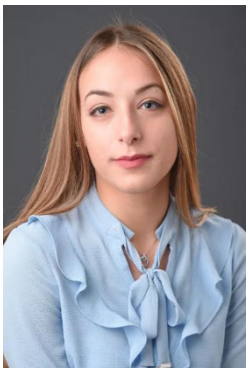
**Abstract:** This research outlines a phase measurement method employing timer modules and presents the implementation of the corresponding measurement system. The primary motivation for this research stems from the need for precise and accurate measurement of the phase difference between voltage and current signals from a dual-channel source when phase degradation occurs in the output stage.

To determine the deviation between the measured and actual phase angles of voltage and current at the output of a dual-channel source, phase measurement is achieved using timer modules. This method necessitates the conversion of relatively high voltage and current signals into periodic rectangular waves compatible with timer modules, and this conversion is facilitated by comparators. Despite the exceptional performance of timer-based approaches in measuring time intervals, their application in phase measurement is infrequent due to several significant challenges encountered during the conversion of analog signals to digital signals, including the influence of noise present in analog signals, comparator offsets, and asymmetric low-pass filters designed for noise reduction, therefore, the paper proposes a measurement system that provides solutions to the encountered problems.

**Keywords:** phase measurement, time measurement, timer modules, microcontroller, dual-channel source.

**Биографије | Biographies**

**Сања Мандић (Sanja Mandić)**



Сања Мандић је мастер инжењер биомедицинског инжењерства, са завршеним основним и мастер академским студијама на Факултету техничких наука, у Новом Саду. Тренутно је студент докторских студија на усмерењу Енергетика, електроника и телекомуникације, Факултета техничких наука. Сања Мандић је од 2021. године ангажована као асистент на Катедри за електрична мерења, Факултета техничких наука, где се бави истраживачким радом и едукацијом студената. Њена истраживачка интересовања обухватају области *embedded* система, метрологије и биомедицинског инжењерства.

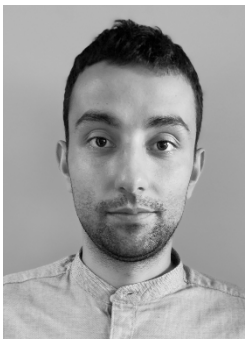
*Sanja Mandić is a biomedical engineering graduate, with completed undergraduate and master's studies at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. She is currently a Ph.D. student in the field of Energy, Electronics, and Telecommunications at the Faculty of Technical Sciences. Since 2021, Sanja Mandić has been working as a teaching assistant at the Department of Electrical Measurements at the Faculty of Technical Sciences, where she is involved in research and student education. Her research interests include embedded systems, metrology, and biomedical engineering.*

**Драган Пејић (Dragan Pejić)**

Драган Пејић је дипломирао, магистрирао и докторирао на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, 1993, 1997. и 2010. године, респективно. Од 1995. године ради на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. Његова истраживачка интересовања обухватају разне технике аналогно-дигиталне конверзије и њихово коришћење у мерењу електричне снаге и енергије.

*Dragan Pejić received the B.Sc., M.Sc., and Ph.D. degrees in electrical engineering from the University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, in 1993, 1997 and 2010, respectively. Since 1995, he has been with the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. His current research interests include various analog-to-digital conversion techniques and their use in electrical power and energy measurements.*

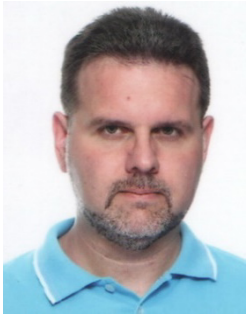
### Ђорђе Новаковић (Đorđe Novaković)



Ђорђе Новаковић стекао је дипломе Bachelor (B.Sc.) и мастер (M.Sc.) из електротехнике на Универзитету у Новом Саду, Нови Сад, Србија, 2012. и 2016. године, респективно, где је 2022. године и докторирао. На Универзитету у Новом Саду ангажован је од 2016. године. Његова истраживачка интересовања укључују дигитална стохастичка мерења, уграђене системе и биомедицинску инструментализацију. Има бројне публикације у домаћим и међународним часописима, што потврђује његов значајан допринос у области метрологије и инструментализације. Такође, био је ангажован на развоју прототипова, нових метода и симулационих модела, као и на имплементацији и тестирању мерних метода и софтверских алата.

*Đorđe Novaković obtained his Bachelor (B.Sc.) and Master (M.Sc.) degrees in Electrical Engineering from the University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, in 2012 and 2016, respectively, and completed his PhD in 2022. He has been engaged at the University of Novi Sad since 2016. His research interests include digital stochastic measurements, embedded systems, and biomedical instrumentation. He has numerous publications in domestic and international journals, which confirm his significant contribution to the field of metrology and instrumentation. Additionally, he has been involved in the development of prototypes, new methods, and simulation models, as well as in the implementation and testing of measurement techniques and software tools.*

### Марјан Урекар (Marjan Urekar)



Рођен 1975. године у Новом Саду, СФРЈ. Основне, магистарске и докторске студије завршио на ФТН Нови Сад. Од 1996. до 2007. године радио као индустријски инжењер у СРЈ, СЦГ и Србији. Од 2007. запослен на Факултету техничких наука у Новом Саду, Катедра за електрична мерења, Департман за енергетику, електронику и телекомуникације. Тренутно у звању ванредног професора. Научно-истраживачка област: Електрична мерења, метрологија и биомедицина. Области изучавања: Индустрија 4.0, електрична мерења, метрологија, аналогна електроника, лабораторијска инструментација и мерење, еталонирање, процесно управљање, аудио технологија, пројектовање електронских уређаја и ПЦБ-а, стохастички процеси, индустријски електронски уређаји и мерни системи, биомедицинска инструментација, стандарди и стандардизација, поузданост рада, војне технологије, едукација за инжењере, критичко размишљање за инжењере, одржавање старих електронских технологија и система. Члан *IEEE*, Друштва за *ETRAN*, Матице српске, Комисије за стандарде и сродне документе КС Н085 Института за стандардизацију Србије. Рецензент за *IEEE*, *Elsevier*, *IMEKO*, Мерно-информационе технологије МИТ, Конгрес метролога, *INDEL*, *(Ic)ETRAN*. Руководилац за квалитет Лабораторије за метрологију, Центар за метрологију, ФТН Нови Сад. Аутор и коаутор преко 200 научних радова и технолошких решења. Сертификовани аудитор и водећи проверивач за стандарде: ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001, ISO 45001, ISO 27001, ISO 17025. Руководилац мастер студијских програма Мерење и регулација и Мерно-информациони системи на ФТН.

*Born in 1975 in Novi Sad, SFRJ. He completed his undergraduate, master's and doctoral studies at FTN Novi Sad. From 1996 to 2007, he worked as an industrial engineer in the SRJ, SCG and Serbia. Since 2007, employed at the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, Department of Power, Electronic and Telecommunication Engineering. Currently in the title of associate professor. Scientific research area: Electrical measurements, metrology and biomedicine. Areas of study: Industry 4.0, electrical measurements, metrology, analog electronics, laboratory instrumentation and measurement, calibration, process engineering, audio technology, electronic device and PCB design, stochastic processes, industrial electronic devices and measurement systems, biomedical instrumentation, standards and standardization, reliability of work, military technologies, education for engineers, critical thinking for engineers, maintenance of legacy electronic technologies and systems. Member of IEEE, Society for ETRAN, Matica Srpska, Committee for Standards and Related Documents KS N085 of the Institute for Standardization of Serbia. Reviewer for IEEE, Elsevier, IMEKO, Measurement and*

*Information Technologies MIT, Congress of Metrologists, INDEL, (Ic)ETRAN. Quality Manager of the Metrology Laboratory, Center for Metrology, FTN Novi Sad. Author and co-author of over 200 scientific papers and technological solutions. Certified auditor and leading auditor for standards: ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001, ISO 45001, ISO 27001, ISO 17025.*

**Платон Совиљ (Platon Sovilj)**

Проф. др Платон Совиљ је редовни професор Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду. Дипломирао је 1997. године на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, одсек Електротехника и рачунарство, смер Електроника и телекомуникације, усмерење Електроника. Магистарски рад под називом „Екстерно тестирање површинских калемова уређаја за магнетску резонанцу" одбранио је 2006. године (на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, област Електротехника и рачунарство, смер Електроника). Докторирао је 2010. године на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. Тема дисертације је „Стохастичко дигитално мерење ЕЕГ сигнала". Предаје на студијским програмима: Енергетика, електроника и телекомункације (ОАС, МАС и ДАС), Биомедицинско инжењерство (ОАС, МАС и ДАС), и Мерење и регулација (ОАС и МАС) на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду.

*Prof. Dr. Platon Sovilj is a full professor at the Faculty of Technical Sciences of the University of Novi Sad. He graduated in 1997 from the Faculty of Technical Sciences of the University of Novi Sad, Department of Electrical Engineering and Computing. He defended his master's thesis entitled "External testing of surface coils for magnetic resonance devices" in 2006 (at the Faculty of Technical Sciences of the University of Novi Sad, Electrical Engineering and Computer Science). He received his doctorate in 2010 at the Faculty of Technical Sciences of the University of Novi Sad. The topic of the dissertation is "Stochastic digital measurement of EEG signals". He teaches at the study programs: Power, Electronics and Telecommunications (BSc, MSc and PhD), Biomedical Engineering (BSc, MSc and PhD), and Measurement-Information Systems and Control Engineering (BSc and MSc) at the Faculty of Technical Sciences of the University of Novi Sad.*

***DOI*: 10.5937/TID25095M**

# АУТОНОМНИ РОВЕР ЗАСНОВАН НА МАШИНСКОМ ВИДУ ЗА ИНСПЕКЦИЈУ И НАДЗОР ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКЕ ОПРЕМЕ

Младен Милић, Истраживачко-развојни институт за вештачку интелигенцију Србије
Никола Марковић, Истраживачко-развојни институт за вештачку интелигенцију Србије
**ORCID: 0000-0002-9175-8516**
Александар Рикаловић, Истраживачко-развојни институт за вештачку интелигенцију Србије
**ORCID: 0000-0003-2777-5706**
Милован Медојевић, Истраживачко-развојни институт за вештачку интелигенцију Србије

**Кратак садржај:** Овај рад представља иновативну платформу аутономног ровера специјално дизајнирану за инспекцију и надзор електроенергетске опреме. Заснован на утврђеним методологијама за даљинско праћење животне средине, предложени систем интегрише сензоре засноване на визији и напредне технике сензорске фузије за откривање аномалија и потенцијалних кварова у критичној електроенергетској инфраструктури. Ровер користи аутономну навигацију, алгоритме дубоког учења за препознавање дефеката и обраду података у реалном времену како би обавио високопрецизне инспекције у опасним и тешко доступним окружењима. Кључне карактеристике система укључују планирање аутономних рута, робусне алгоритме за детекцију објеката ради идентификације дефеката као што су прегревање, корозија и механичка деградација, као и мулти-сензорску платформу која прикупља комплементарне податке о окружењу. Платформа је нарочито погодна за различите примене, укључујући мониторинг трафостаница, инспекцију трансформатора, надзор далековода и одржавање прекидачке опреме, чиме се нуди свеобухватно решење за проактивно одржавање и унапређење безбедности у електродистрибутивним мрежама.

# VISION-BASED AUTONOMOUS ROVER FOR INSPECTION AND SURVEILLANCE OF POWER EQUIPMENT

Mladen Milić, The Institute for Artificial Intelligence Research and Development of Serbia
Nikola Marković, The Institute for Artificial Intelligence Research and Development of Serbia
**ORCID: 0000-0002-9175-8516**
Aleksandar Rikalović, The Institute for Artificial Intelligence Research and Development of Serbia
**ORCID: 0000-0003-2777-5706**
Milovan Medojević, The Institute for Artificial Intelligence Research and Development of Serbia

**Abstract:** This paper introduces an innovative autonomous rover platform specifically designed for the inspection and surveillance of power equipment. Building on established methodologies in remote environmental monitoring, the proposed system integrates vision-based sensors and advanced sensor fusion techniques to detect anomalies and potential failures within critical power infrastructure. The rover leverages autonomous navigation, deep learning-based defect recognition, and real-time data processing to conduct high-precision inspections in hazardous and hard-to-reach environments. Key features of the system include autonomous route planning, robust object detection algorithms for identifying defects such as overheating, corrosion, and mechanical degradation, as well as a multi-sensor platform that gathers complementary environmental data. The platform is particularly suited for a range of applications, including substation monitoring, transformer inspection, overhead line surveillance, and switchgear maintenance, thereby offering a comprehensive solution for proactive maintenance and enhanced safety in power distribution networks.

**Биографије | Biographies**

### Младен Милић (Mladen Milić)

Младен Милић је мастер студент на смеру Рачунарство и аутоматика на Факултету техничких наука у Новом Саду и истраживач–практикант у Истраживачко-развојном институту за вештачку интелигенцију Србије. Његова главна интересовања укључују вештачку интелигенцију, роботику и индустријску аутоматику, где комбинује теоријска знања са практичним пројектима. Као вођа тима „NSDynamics" учествовао је на међународном такмичењу „Eurobot", где је стекао искуство у лидерству и развоју сложених роботских система. Допринос је и развоју софтвера „Matrix 3D" за грађевинско инжењерство, спајајући инжењерска решења са индустријским потребама. Аутор је рада представљеног на конференцији ICIST, а учествовао је и на летњој школи EEML, као и на Међународном сајму технике, где је представљао Институт за вештачку интелигенцију Србије. Његов циљ је да повеже академску каријеру са радом у индустрији, примењујући AI технологије у пракси. Одликују га аналитичко размишљање, креативност и способност да повезује људе и идеје.

*Mladen Milić is a Master's student in Computer Science and Automation at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, and a research intern at the Institute for Artificial Intelligence of Serbia. His main interests are artificial intelligence, robotics, and industrial automation, where he combines strong theoretical knowledge with practical projects. As the leader of "NSDynamics", he competed at the international "Eurobot" robotics competition, gaining experience in leadership and the development of complex robotic systems. He also contributed to the "Matrix 3D" software for civil engineering, bridging academic expertise with industrial applications. He authored a paper presented at the ICIST conference and participated in the EEML Summer School, as well as the International Fair of Technology, where he represented the Institute for Artificial Intelligence of Serbia. His ambition is to unite an academic career with industry, applying AI technologies in practice. He is recognized for analytical thinking, creativity, and leadership.*

### Никола Марковић (Nikola Marković)

Никола Марковић је рођен у Јагодини, Србија. Основне и мастер студије завршио је на одсеку за сигнале и системе, Електротехничког факултета, Универзитета у Београду. Од 2016. до 2018. године радио је у Институту Михајло Пупин као развојни инжењер. Као истраживач радио је на Рурском Универзитету у Бохуму од 2018. до 2023. године, као и на Техничком Универзитету у Берлину од 2023. до 2024. године. Тренутно ради на Институту за вештачку интелигенцију Србије, у групи за интелигентне производне системе. Главне области његовог интересовања су деткција отказа у индустријксим системима као и предиктивно одржавање, и обрада сигнала.

*Nikola Marković was born in Jagodina, Serbia. He received the B.Sc. and M.Sc. degrees from the Department of Signals and Systems at the School of Electrical Engineering, the University of Belgrade, Serbia. From 2016 to 2018, he was with the Institute Mihajlo Pupin as a Research and Development Engineer. He worked as a Research Assistant with Ruhr University Bochum from 2018 to 2023 and with TU Berlin from 2023 to 2024. He is currently a researcher at the Institute for Artificial Intelligence Research and Development of Serbia, as part of the group for intelligent production systems. His main fields of interest include fault detection in industrial systems, as well as predictive maintenance and signal processing.*

**Александар Рикаловић (Aleksandar Rikalović)**

Проф. др Александар Рикаловић је редовни професор на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду и научни саветник у Институту за вештачку интелигенцију Србије. Завршио је интегрисане мастер студије 2006. године, а докторирао 2014. године на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду. Стручно се усавршавао на водећим универзитетима и институтима у Бечу, Милану, Улму, Плзену, Каунасу и Пекингу. Гостујући је професор на Универзитету у Милану и аутор више од 70 научних радова објављених у међународним часописима и на конференцијама, као и стручних књига и приручника. Његов истраживачки рад обухвата мултимедије, интелигентне системе за подршку одлучивању, паметне фабрике, као и решења за индустрију 4.0 и 5.0. Активно учествује у међународним пројектима и у пројектима сарадње са индустријом. Стални је рецензент водећих часописа и члан IEEE. Ожењен је и отац четворо деце.

*Prof. Dr. Aleksandar Rikalovic is a Full Professor at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, and a Scientific Advisor at the Institute for Artificial Intelligence of Serbia. He completed his integrated Master's studies in 2006 and earned his PhD in 2014 at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. He has undertaken professional training at leading universities and institutes in Vienna, Milan, Ulm, Plzeň, Kaunas, and Beijing. He serves as a Visiting Professor at the University of Milan and is the author of more than 70 scientific papers published in international journals and conferences, as well as several professional books and manuals. His research interests include multimedia, intelligent decision support systems, smart factories, and solutions for Industry 4.0 and 5.0. He is actively involved in international and industry collaboration projects, serves as a regular reviewer for leading journals, and is a member of IEEE. He is married and a father of four.*

***DOI*: 10.5937/TID25098M**

# ДЕКАРБОНИЗАЦИЈА У ЕРИ ИНДУСТРИЈЕ 5.0

Саша Милић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија
**ORCID: 0000-0001-5757-3430**
Саша Миловановић, Институт Никола Тесла ад, Универзитет у Београду, Република Србија

**Кратак садржај:** Како Европска унија унапређује своју климатску политику кроз имплементацију механизма за прилагођавање угљеника на границама (CBAM), земље Западног Балкана – нарочито Србија – суочавају се са хитним и стратешким императивом: декарбонизацијом својих енергетских сектора и усклађивањем са европским оквирима климатског управљања. CBAM није само царина на граници, већ свеобухватан инструмент који захтева тачно праћење, извештавање и верификацију (MRV) уграђених емисија угљеника у извозним производима, почевши од електричне енергије, цемента, челика, алуминијума и ђубрива.

Имплементација CBAM-а је суштински повезана са принципима Индустрије 5.0, која наглашава отпорност, иновације усмерене на човека и еколошку одрживост кроз примену паметних и дигитализованих система. У том контексту, Електротехнички институт Никола Тесла (ИНТ) има кључну улогу у развоју капацитета Србије за усклађивање са захтевима CBAM-а и вођење транзиције ка нискоугљеничној економији. Позициониран на пресеку технолошке експертизе, регулаторне усклађености и примењених истраживања, ИНТ доприноси националној енергетској транзицији кроз следеће стратешке стубове:
1 – развој и примену MRV система усклађених са ISO 14064 и ЕУ регулативом 2023/1773,
2 – интеграцију обновљивих извора енергије путем паметних мрежа и микромрежа,
3 – подршку пилот пројектима за хватање и складиштење угљеника (CCS) и
4 – обуку и техничко вођење актера у енергетском сектору.

Улога ИНТ-а превазилази регулаторну усклађеност. Предводећи развој дигиталне инфраструктуре за континуирано праћење емисија и систематско извештавање о енергетској ефикасности, Институт поставља националне стандарде за управљање подацима о уграђеном угљенику. Ове способности су кључне да би извозници из Србије остали конкурентни на тржишту ЕУ у оквиру CBAM-а. Поред тога, ИНТ унапређује примену вештачке интелигенције (AI) и дигиталних близанаца за оптимизацију стабилности мреже, побољшање интеграције обновљивих извора и смањење губитака у преносу – што су основни аспекти Индустрије 5.0 у енергетском домену.

Декарбонизација енергетског сектора Србије је такође питање дугорочне енергетске безбедности и економске отпорности. Угаљ, који тренутно доминира националним енергетским миксом, није компатибилан са CBAM оквиром због своје високе емисије угљеника. Стратегија праведне енергетске транзиције, подржана планирањем инвестиција заснованим на MRV и прекограничним зеленим финансирањем (нпр. кроз Horizon Europe, IPA III и Зелену агенду за Западни Балкан), је од суштинског значаја.

Експертиза ИНТ-а у моделовању система, прогнозирању сценарија и MRV верификацији чини га кључним стубом ове трансформације. Овај постер приказује свеобухватан приступ ИНТ-а ка декарбонизацији, са фокусом на усклађеност са CBAM-ом, имплементацију MRV-а и интеграцију Индустрије 5.0. Истакнути су технички правци, економска изводљивост и регулаторна спремност, док се такође демонстрира како Институт делује као центар знања и иновација за енергетску будућност Србије.

**Кључне речи:** декарбонизација, CBAM, индустрија 5.0.

# DECARBONIZATION IN THE INDUSTRY 5.0

Saša Milić, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia
**ORCID: 0000-0001-5757-3430**
Saša Milovanović, Nikola Tesla Institute, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

**Abstract:** As the European Union deepens its climate policy through the implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), Western Balkan countries—particularly Serbia—are confronted with an urgent and strategic imperative: to decarbonize their power sectors and align with European climate governance frameworks. CBAM is not merely a border tariff but a comprehensive instrument that demands accurate monitoring, reporting, and verification (MRV) of embedded carbon emissions in exported goods, starting with electricity, cement, steel, aluminum, and fertilizers.

The implementation of CBAM is intrinsically linked to the principles of Industry 5.0, which emphasizes resilience, human-centric innovation, and environmental sustainability through the application of smart and digitalized systems. In this context, the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering (INT) plays a pivotal role in developing Serbia's capacity to comply with CBAM requirements and to lead the transition to a low-carbon economy. Positioned at the intersection of technological expertise, regulatory compliance, and applied research, INT contributes to the national energy transition through the following strategic pillars:
1 – development and deployment of MRV systems aligned with ISO 14064 and EU Regulation 2023/1773,
2 – integration of renewable energy sources via smart grid and microgrid platforms,
3 – support for carbon capture and storage (CCS) pilot applications, and
4 – training and technical guidance for energy sector stakeholders.

The role of INT extends beyond regulatory compliance. By spearheading the development of digital infrastructure for continuous emissions monitoring and systematic energy performance reporting, the Institute is setting national standards for embedded carbon data governance. These capabilities are essential for Serbia's exporters to remain competitive in the EU market under CBAM.

Moreover, INT is advancing the application of artificial intelligence (AI) and digital twins to optimize grid stability, enhance renewable integration, and reduce transmission losses—core aspects of Industry 5.0 in the energy domain. The decarbonization of Serbia's power sector is also a matter of long-term energy security and economic resilience.

Coal, which currently dominates the national energy mix, is incompatible with the CBAM framework due to its high carbon intensity. A just energy transition strategy, supported by MRV-based investment planning and cross-border green financing (e.g., through Horizon Europe, IPA III, and the Green Agenda for the Western Balkans), is vital.

INT's expertise in system modeling, scenario forecasting, and MRV verification makes it a cornerstone of this transformation. This poster outlines INT's comprehensive approach to decarbonization, with an emphasis on CBAM alignment, MRV implementation, and Industry 5.0 integration. It highlights technical pathways, economic feasibility, and regulatory preparedness, while also demonstrating how the Institute acts as a knowledge and innovation hub for Serbia's energy future.

**Keywords:** decarbonization, CBAM, industry 5.0.

**Биографије | Biographies**

## Саша Милић (Saša Milić)

Саша Д. Милић је рођен у Београду, у Србији, 11. јула 1967. године. Дипломирао је, магистрирао и докторирао електротехнику 1993, 2000. и 2008. године на Универзитету у Београду. Тренутно има звање научног саветника. Од 1994. године запослен је као истраживач и развојни инжењер за електрична мерења у Електротехничком институту Никола Тесла, Универзитета у Београду. Области истраживања су му оптоелектроника, инфрацрвена техника, ИоТ, фази логика, вештачка интелигенција и сложени алгоритма управљања и одлучивања. Чест је члан у комисијама за оцену докторских дисертација. Учествовао је у истраживању у оквиру неколико националних пројеката у индустрији и науци. Квалификован је за управљање малим и средњим предузећима на основу обуке у Привредној комори Србије. Објавио је више од 117 научних и стручних радова у међународним и домаћим часописима и на конференцијама.

*Saša D. Milić was born in Belgrade, Serbia, on July 11, 1967. He received his B.Sc., M.Sc., and Ph.D. degrees in electrical engineering in 1993, 2000, and 2008, respectively, from the University of Belgrade. He currently holds the title of Ph.D. scientific advisor. Since 1994, he has been employed as a research and development engineer in electrical measurements at the Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade. His research interests include optoelectronics, infrared technology, IoT, fuzzy logic, artificial intelligence, machine learning, and complex control and decision-making algorithms. He frequently serves as a member of committees for the evaluation of doctoral dissertations. He has participated in research within several national projects in both industry and science. He is qualified for the management of small and medium-sized enterprises based on training from the Chamber of Commerce of Serbia. He has published more than 117 scientific and professional papers in international and domestic journals and conferences.*

## Саша Миловановић (Saša Milovanović)

Саша Миловановић је стручњак са више од 25 година искуства у области енергетике, иновација и међународне сарадње. Тренутно је ангажован у Институту Никола Тесла у Београду као члан тима за израду предлога пословног плана развоја, са фокусом на дигитализацију, унапређење енергетских система и комерцијализацију иновација. Претходно је био директор у више компанија у Србији, ЕУ и УАЕ, где је управљао развојем пројеката у области обновљивих извора енергије, инфраструктуре и финансијских технологија. Као члан радне групе Министарства здравља, активно је радио на јачању сарадње са УАЕ у области здравства. Учествовао је у припреми пројеката подржаних од стране ММФ-а и Светске банке, водио буџете вредне више милиона долара, успешно спровео више стратешких партнерстава и радио на комерцијализацији патената. Завршио је Математички факултет у Београду, и говори енглески језик на професионалном нивоу. Поседује вештине у стратешком планирању, комерцијализацији технологија и управљању комплексним међународним пројектима.

*Saša Milovanović is a professional with over 25 years of experience in the fields of energy, innovation, and international cooperation. He is currently engaged at the Nikola Tesla Institute in Belgrade as a member of the team responsible for drafting the development business plan, with a focus on digitalization, energy system improvement, and innovation commercialization. Previously, he served as director in several companies across Serbia, the EU, and the UAE, managing projects related to renewable energy, infrastructure, and financial technologies. As a member of the Ministry of Health's working group, he actively contributed to strengthening healthcare cooperation with the UAE. He participated in the preparation of projects supported by the IMF and the World Bank, managed multimillion-dollar budgets, successfully implemented strategic partnerships, and worked on the commercialization of patents. He holds a degree in Mechanics from the Faculty of Mathematics, University of Belgrade, and is fluent in English. He possesses strong skills in strategic planning, technology commercialization, and management of complex international projects.*

TESLA INNOVATION DAYS – TID 2025

E-mail: info@teslini-inovacioni-dani.com
Web site: www.teslini-inovacioni-dani.com

ТЕСЛИНИ ИНОВАЦИОНИ ДАНИ

TESLA INNOVATION DAYS

Belgrade, Serbia, April 7 - 8, 2025