

**GOCE DELCEV UNIVERSITY, STIP, NORTH MACEDONIA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING**

ETIMA 2025
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE
24-25 SEPTEMBER, 2025



**TECHNICAL SCIENCES APPLIED IN ECONOMY,
EDUCATION AND INDUSTRY**



УНИВЕРЗИТЕТ
ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ
ФАКУЛТЕТ



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“, ШТИП
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

GOCE DELCEV UNIVERSITY, STIP
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

ТРЕТА МЕЃУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE

ЕТИМА / ETIMA 2025

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ
CONFERENCE PROCEEDINGS

24-25 септември 2025 | 24-25 September 2025

ISBN: 978-608-277-128-1

DOI: <https://www.doi.org/10.46763/ETIMA2531>

Главен и одговорен уредник / Editor in Chief

проф.д-р Сашо Гелев
Prof.d-r Saso Gelev

Јазично уредување / Language Editor

Весна Ристова (македонски) / Vesna Ristova (Macedonian)

Техничко уредување / Technical Editing

Дарко Богатинов / Darko Bogatinov

Издавач / Publisher

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип / Goce Delcev University, Stip
Електротехнички факултет / Faculty of Electrical Engineering

Адреса на организационен комитет / Address of the organizational committee

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип / Goce Delcev University, Stip
Електротехнички факултет / Faculty of Electrical Engineering

Адреса: ул. „Крсте Мисирков“ бр. 10А / Address: Krste Misirkov, 10A

Пош. фах 201, Штип - 2000, С. Македонија / PO BOX 201, Stip 2000, North Macedonia

E-mail: conf.etf@ugd.edu.mk

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

62-049.8(062)

004-049.8(062)

МЕЃУНАРОДНА конференција ЕТИМА (3 ; 2025 ; Штип)

Зборник на трудови [Електронски извор] / Трета меѓународна конференција ЕТИМА 2025, 24-25 септември 2025 ; [главен и одговорен уредник Сашо Гелев] = Conference proceedings / Third international conference, 24-25 September 2025 ; [editor in chief Saso Gelev]. - Текст во PDF формат, содржи 357 стр., илустр. - Штип : Универзитет "Гоце Делчев", Електротехнички факултет ; Штип : "Goce Delchev" University, Faculty of Electrical engineering, 2025

Начин на пристапување (URL): <https://js.ugd.edu.mk/index.php/etima/en>. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 30.10.2025. - Трудови на мак. и англ. јазик. - Библиографија кон трудовете

ISBN 978-608-277-128-1

а) Електротехника -- Примена -- Собири б) Машинство -- Примена -- Собири
в) Автоматика -- Примена -- Собири г) Информатика -- Примена -- Собири

COBISS.MK-ID 67297029



Трета меѓународна конференција ЕТИМА
24-25 Септември 2025
Third International Conference ETIMA
24-25 September 2025

**ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР
ORGANIZING COMMITTEE**

Драган Миновски / Dragan Minovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Сашо Гелев / Saso Gelev

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Тодор Чекеровски / Todor Cekerovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Маја Кукушева Панева / Maja Kukuseva Paneva

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Билјана Читкушева Димитровска / Biljana Citkuseva Dimitrovska

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Дарко Богатинов / Darko Bogatinov

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia



Трета меѓународна конференција ЕТИМА
24-25 Септември 2025
Third International Conference ETIMA
24-25 September 2025

**ПРОГРАМСКИ И НАУЧЕН ОДБОР
SCIENTIFIC COMMITTEE**

Антонио Курадо / António Curado

Политехнички институт во Виана до Кастело, Португалија
Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal

Стелијан – Емилијан Олтеан / Stelian –Emilian Oltean

Факултет за инженерство и информатичка технологија,
Медицински универзитет Георге Емил Паладе, фармација, наука и технологија
во Таргу Муреш, Романија
Faculty of Engineering and Information Technology, George Emil Palade
University of Medicine, Pharmacy, Science, and Technology of Targu Mures, Romania

Митко Богданоски / Mitko Bogdanoski

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Верица Тасеска Ѓоргиевска / Verica Taseska Gjorgievska

Македонска академија на науките и уметностите, Северна Македонија
Macedonian Academy of Sciences and Arts, North Macedonia

Југослав Ачкоски / Jugoslav Ackoski

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Димитар Богатинов / Dimitar Bogatinov

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Со Ногучи / So Noguchi

Висока школа за информатички науки и технологии
Универзитет Хокаидо, Јапонија
Graduate School of Information Science and Technology
Hokkaido University, Japan

Диониз Гашпаровски / Dionýz Gašparovský

Факултет за електротехника и информатички технологии,
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Георги Иванов Георгиев / Georgi Ivanov Georgiev
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Антон Белан / Anton Belán
Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Ивелина Стефанова Балабанова / Ivelina Stefanova Balabanova
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Бојан Димитров Карапeneв / Boyan Dimitrov Karapenev
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Сашо Гелев / Saso Gelev
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Влатко Чингоски / Vlatko Cingoski
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Божо Крстајиќ / Bozo Krstajic
Електротехнички факултет
Универзитет во Црна Гора, Црна Гора
Faculty of Electrical Engineering,
University in Montenegro, Montenegro

Милован Радуловиќ / Milovan Radulovic
Електротехнички факултет
Универзитет во Црна Гора, Црна Гора
Faculty of Electrical Engineering,
University in Montenegro, Montenegro

Гоце Стефанов / Goce Stefanov
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Мирјана Периќ / Mirjana Peric
Електронски факултет
Универзитет во Ниш, Србија
Faculty of Electronic Engineering,
University of Nis, Serbia

Ана Вучковиќ / Ana Vuckovic

Електронски факултет,
Универзитет во Ниш, Србија
Faculty of Electronic Engineering,
University of Nis, Serbia

Тодор Чекеровски / Todor Cekerovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Далибор Серафимовски / Dalibor Serafimovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Мирослава Фаркаш Смиткова / Miroslava Farkas Smitková

Факултет за електротехника и информациони технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Петер Јанига / Peter Janiga

Факултет за електротехника и информациони технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Јана Радичова / Jana Raditschová

Факултет за електротехника и информациони технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Драган Миновски / Dragan Minovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Василија Шарац / Vasilija Sarac

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Александар Тузаров / Aleksandar Tudzarov

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Владимир Талевски / Vladimir Talevski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Владо Гичев / Vlado Gicev

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Марија Чекеровска / Marija Cekerovska

Машински факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Mechanical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Мишко Цидров / Misko Dzidrov

Машински факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Mechanical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Александар Крстев / Aleksandar Krstev

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Ванчо Аџиски / Vancho Adziski

Факултет за природни и технички науки,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Natural and Technical Sciences,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Томе Димовски / Tome Dimovski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Зоран Котевски / Zoran Kotevski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Никола Рендевски / Nikola Rendevski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Илија Христовски / Ilija Hristovski

Економски факултет,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Economy,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Христина Спасовска / Hristina Spasovska

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Роман Голубовски / Roman Golubovski

Природно-математички факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Маре Србиновска / Mare Srbinovska

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Билјана Златановска / Biljana Zlatanovska

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Александра Стојанова Илиевска / Aleksandra Stojanova Ilievska

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Мирјана Коцалева Витанова / Mirjana Kocaleva Vitanova

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Ивана Сандева / Ivana Sandeva

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Билјана Читкушева Димитровска / Biljana Citkuseva Dimitrovska

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Наташа Стојковиќ / Natasa Stojkovik

Факултет за информатика,

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;

Faculty of Computer Science,

Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;



Трета меѓународна конференција ЕТИМА Third International Conference ETIMA

PREFACE

The Third International Conference “Electrical Engineering, Technology, Informatics, Mechanical Engineering and Automation – Technical Sciences in the Service of the Economy, Education and Industry” (ETIMA’25), organized by the Faculty of Electrical Engineering at the “Goce Delchev” University – Shtip, represents a significant scientific event that enables interdisciplinary exchange of knowledge and experience among researchers, professors, and experts in the field of technical sciences. The conference was held in an online format and brought together 78 authors from five different countries.

The ETIMA conference aims to establish a forum for scientific communication, encouraging multidisciplinary collaboration and promoting technological innovations with direct impact on modern life. Through the presentation of scientific papers, participants shared the results of their research and development activities, contributing to the advancement of knowledge and practice in relevant fields. The first ETIMA conference was organized four years ago, featuring 40 scientific papers. The second conference took place in 2023 and included over 30 papers. ETIMA’25 continued this scientific tradition, presenting more than 40 papers that reflect the latest achievements in electrical engineering, technology, informatics, mechanical engineering, and automation.

At ETIMA’25, papers were presented that addressed current topics in technical sciences, with particular emphasis on their application in industry, education, and the economy. The conference facilitated fruitful discussions among participants, encouraging new ideas and initiatives for future research and projects.

ETIMA’25 reaffirmed its role as an important platform for scientific exchange and international cooperation. The organizing committee extends sincere gratitude to all participants for their contribution to the successful realization of the conference and its scientific value.

We extend our sincerest gratitude to all colleagues who, through the presentation of their papers, ideas, and active engagement in discussions, contributed to the success and scientific significance of ETIMA’25.

The Organizing Committee of the Conference

ПРЕДГОВОР

Третата меѓународна конференција „Електротехника, Технологија, Информатика, Машинство и Автоматика – технички науки во служба на економијата, образованието и индустријата“ (ЕТИМА’25), организирана од Електротехничкиот факултет при Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип, претставува значаен научен настан кој овозможува интердисциплинарна размена на знаења и искуства меѓу истражувачи, професори и експерти од техничките науки. Конференцијата се одржа во онлајн формат и обедини 78 автори од пет различни земји.

Конференцијата ЕТИМА има за цел да создаде форум за научна комуникација, поттикнувајќи мултидисциплинарна соработка и промовирајќи технолошки иновации со директно влијание врз современото живеење. Преку презентација на научни трудови, учесниците ги споделуваат резултатите од своите истражувања и развојни активности, придонесувајќи кон унапредување на знаењето и практиката во релевантните области.

Првата конференција ЕТИМА беше организирана пред четири години, при што беа презентирани 40 научни трудови. Втората конференција се одржа во 2023 година и вклучи над 30 трудови. ЕТИМА’25 продолжи со истата научна традиција, презентирајќи повеќе од 40 трудови кои ги отсликуваат најновите достигнувања во областа на електротехниката, технологијата, информатиката, машинството и автоматиката.

На ЕТИМА’25 беа презентирани трудови кои обработуваат актуелни теми од техничките науки, со посебен акцент на нивната примена во индустријата, образованието и економијата. Конференцијата овозможи плодна дискусија меѓу учесниците, поттикнувајќи нови идеи и иницијативи за идни истражувања и проекти.

ЕТИМА’25 ја потврди својата улога како значајна платформа за научна размена и интернационална соработка. Организациониот одбор упатува искрена благодарност до сите учесници за нивниот придонес кон успешната реализација на конференцијата и нејзината научна вредност. Конференцијата се одржа онлајн и обедини седумдесет и осум автори од пет различни земји.

Изразуваме голема благодарност до сите колеги кои со презентирање на своите трудови, идеи и активна вклученост во дискусиите придонесоа за успехот на ЕТИМА’25 и нејзината научна вредност.

Организационен одбор на конференцијата

СОДРЖИНА / TABLE OF CONTENTS:

СОВРЕМЕНО РАНОГРАДИНАРСКО ПРОИЗВОДСТВО СО ПРИМЕНА НА ОБНОВЛИВИ ЕНЕРГЕТСКИ ИЗВОРИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	15
ШИРОКОПОЈАСЕН ПРЕНОС НА ПОДАТОЦИ ПРЕКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКАТА МРЕЖА	25
TRANSIENT PHENOMENA IN BLACK START	32
OPTIMIZATION OF SURPLUS ELECTRICITY MANAGEMENT FROM MUNICIPAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: VIRTUAL STORAGE VS BATTERY SYSTEMS.....	43
IMPACT OF LIGHT POLLUTION ON ENERGY EFFICIENCY	53
ПЕРСПЕКТИВИ, ПРЕДИЗВИЦИ И ИНОВАЦИИ ВО ПЕРОВСКИТНИТЕ СОЛАРНИ КЕЛИИ	61
ПРИМЕНА НА НАНОМАТЕРИЈАЛИ КАЈ ФОТОВОЛТАИЧНИ КЕЛИИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА НИВНАТА ЕФИКАСНОСТ ПРЕКУ НАМАЛУВАЊЕ НА РАБОТНАТА ТЕМПЕРАТУРА	68
LONG-TERM POWER PURCHASE AGREEMENT FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY AS A SOLUTION FOR ENHANCING THE PROFITABILITY OF THE TASHMARUNISHTA PUMPED-STORAGE HYDRO POWER PLANT	75
СПОРЕДБЕНА АНАЛИЗА НА ПОТРОШУВАЧКА, ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И ТРОШОЦИ КАЈ ВОЗИЛА СО РАЗЛИЧЕН ТИП НА ПОГОН	87
АВТОМАТСКИ СИСТЕМ ЗА НАВОДНУВАЊЕ УПРАВУВАН ОД ARDUINO МИКРОКОНТРОЛЕР	95
ПРИМЕНА НА WAMS И WACS СИСТЕМИ ВО SMART GRID.....	103
IoT-BASED ENVIRONMENTAL CONTROL IN 3D PRINTER ENCLOSURES FOR OPTIMAL PRINTING CONDITIONS.....	112
BENEFITS OF STUDYING 8086 MICROPROCESSOR FOR UNDERSTANDING CONTEMPORARY MICROPROCESSOR.....	123
ПРАКТИЧНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ И РЕГУЛАЦИЈА НА НИВО НА ТЕЧНОСТ ВО РЕЗЕРВОАР.....	130
ADVANCEMENTS IN INDUSTRIAL DIGITAL SENSORS (VERSION 3.0 TO 4.0) AND RADAR SYSTEMS FOR OBJECT DETECTION: A STATE-OF-THE-ART REVIEW.	140
CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR ENHANCING DRONE-TO-TOC COMMUNICATION PERFORMANCE IN MILITARY AND CRISIS OPERATIONS..	148
BRIDGING TELECOM AND AVIATION: ENABLING SCALABLE BVLOS DRONE OPERATIONS THROUGH AIRSPACE DIGITIZATION.....	157
MEASURES AND RECOMMENDATIONS FOR EFFICIENCY IMPROVEMENT OF ELECTRICAL MOTORS	167
USE OF MACHINE LEARNING FOR CURRENT DENSITY DISTRIBUTION ESTIMATION OF REBCO COATED CONDUCTORS	180
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DENTAL MEDICINE	186
ИНТЕГРАЦИЈА НА ДИГИТАЛНИОТ СПЕКТРОФОТОМЕТАР ВО ДЕНТАЛНАТА МЕДИЦИНА – НОВИ МОЖНОСТИ ЗА ТОЧНОСТ И КВАЛИТЕТ	194

CORRELATION OF DENTAL MEDICINE STUDENTS' PERFORMANCE IN PRECLINICAL AND CLINICAL COURSES	205
INTRAORAL ELECTROSTIMULATOR FOR RADIATION INDUCED XEROSTOMIA IN PATIENTS WITH HEAD AND NECK CANCER.....	214
ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE OF ENDODONTIC EQUIPMENT WITH GASTRIC PACEMAKER	221
DENTAL IMPLANTS ANALYSIS WITH SEM MICROSCOPE	226
ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ ПРИ УПОТРЕБА НА ЛАСЕР ВО РЕСТАВРАТИВНАТА СТОМАТОЛОГИЈА И ЕНДОДОНЦИЈА.....	231
LASERS AND THEIR APPLICATION IN PEDIATRIC DENTISTRY	238
INCREASE OF ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE BEHAVIOUR THROUGH EDUCATION AND TECHNOLOGICAL INNOVATION.....	242
A DATA-DRIVEN APPROACH TO REAL ESTATE PRICE ESTIMATION: THE CASE STUDY SLOVAKIA.....	249
ANALYSIS OF THE BACKWARD IMPACTS OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT ON THE DISTRIBUTION SYSTEM	261
VARIANT SOLUTIONS FOR A PARKING LOT COVERED WITH PHOTOVOLTAIC PANELS.....	268
COMPARISON OF ENERGY STATUS IN PORTUGAL AND IN SLOVAKIA	279
DESIGN, ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ...	286
BATTERY STORAGE IN TRACTION POWER SUPPLY	297
THE ROLE OF CYBERSECURITY AWARENESS TRAINING TO PREVENT PHISHING.....	304
A REVIEW OF RESOURCE OPTIMIZATION TECHNIQUES IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS	311
APPLICATION OF A ROBOTIC ARM IN A SIMPLE PICK-AND-DROP OPERATION	321
SIMULATION-BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF A SECURE UAV-TO-TOC COMMUNICATION FRAMEWORK IN MILITARY AND EMERGENCY OPERATIONS	328
DIGITALIZATION OF BPM USING THE CAMUNDA SOFTWARE TOOL ON THE EXAMPLE OF THE CENTRAL BANK OF MONTENEGRO	339
DESIGNING A SECURE COMMUNICATION FRAMEWORK FOR UAV-TO-TOC OPERATIONS IN MILITARY AND EMERGENCY ENVIRONMENTS.....	349



Трета меѓународна конференција ЕТИМА

Third International Conference ETIMA

UDC: 621.311.1:681.51-047.36

<https://www.doi.org/10.46763/ETIMA2531103e>

ПРИМЕНА НА WAMS И WACS СИСТЕМИ ВО SMART GRID

Симона Ефремова¹, Јована Илиевска¹, Билјана Читкушева Димитровска¹

¹Електротехнички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија

email: simona.20683@student.ugd.edu.mk

email: jovana.20685@student.ugd.edu.mk

email: biljana.citkuseva@ugd.edu.mk

Апстракт

Во екот на еволуцијата и истражувачката ера на паметните енергетски мрежи, се јавува сè поголема потреба од технологии за следење, анализа и контрола во реално време. Системите за мониторинг на широка површина (WAMS) и системите за контрола на широка површина (WACS) се составен дел од подобрувањето на сигурноста, стабилноста и оперативната ефикасност на мрежата. Овие системи обезбедуваат податоци со висока резолуција, временски синхронизирани и овозможуваат координирани контролни дејствија низ големи географски области.

Се истражува улогата на WAMS и WACS системите во подобрувањето на видливоста и контролата на паметната мрежа, особено со интеграцијата на обновливи извори. Дискутирани се нивните придонеси за ублажување на нарушувања и зголемување на заштитата. Презентирани се достигнувања и студии на случаи, но и предизвици, како високите капитални инвестиции, барањата за комуникациски мрежи, сложената синхронизација и сајбер безбедноста. Единството помеѓу WAMS и WACS е клучно за транзицијата кон интелигентна, одржлива електрична мрежа.

Клучни зборови

WAMS; WACS; Паметна енергетска мрежа; Стабилност и сигурност на мрежата; Реално време; мониторинг; контрола; Комуникациски предизвици

Вовед

Современата електроенергетска мрежа претставува еден од најсложените човекови системи, сè повеќе зависен од напредни технологии за мониторинг, заштита и контрола во реално време. Како клучна основа на паметната мрежа, системите за мониторинг и контрола на широка површина (WAMS и WACS) користат бројни сензори – како што се фазорски мерни единици (PMU) и сензори за струја – за пренос на синхронизирани и динамички податоци преку големи географски области. Овие податоци со висока резолуција се од суштинско значење за обезбедување стабилност на мрежата, подобрување на ситуационата свест и овозможување координирани контролни дејства. Сепак, со растечката сложеност на електроенергетските системи и интеграцијата на обновливи извори на енергија, се појавуваат нови предизвици – како зголемена ранливост на нарушувања, ограничен капацитет за пренос и се поголеми ризици поврзани со сајбер безбедноста. За да се надминат овие пречки, WAMS и WACS мора да се потпираат на безбедна, брза комуникациска инфраструктура, како и на оптимизирани алгоритми за енкрипција кои обезбедуваат рамнотежа помеѓу енергетска ефикасност и перформанси. WACS системите го надополнуваат WAMS преку овозможување на координирана и автоматизирана контрола на системот, базирана врз податоците добиени од мониторингот. Тие се одговорни за иницирање на контролни дејствија во реално време, како што се адаптивна заштита, управување со оптоварување и реакција на

нарушувања. Оваа интеграција помеѓу мерење и контрола е од суштинско значење за одржување на стабилноста на мрежата, особено при големи пореметувања или во услови на зголемена интеграција на обновливи извори на енергија. Со појавата на WAMS и WACS, се поставуваат темелите за следната генерација на енергетски системи кои ќе бидат поинтелигентни, побезбедни и поотпорни на брзи промени и неочекувани настани. Во овој труд се анализираат нивните архитектури, функционалности и предизвиците поврзани со нивната имплементација, со посебен акцент на комуникациските барања, обработката на податоци и интеграцијата со другите системи во рамките на паметната мрежа. Овој труд ги истражува развојот и примената на WAMS и WACS технологиите, нивната улога во подобрување на сигурноста и доверливоста на енергетскиот систем, како и важноста на реалните податоци за динамичка проценка и контрола. Преку експериментални студии и меѓународна соработка, се разгледуваат иновативни решенија за зголемување на отпорноста на системот, автоматизација на контролата и спречување на каскадни дефекти, поставувајќи темели за поотпорна и поинтелигентна енергетска инфраструктура. [1]

WAMS системи

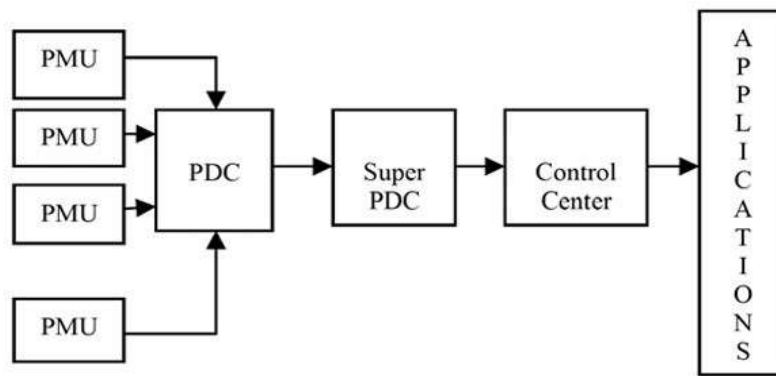
Системот за мониторинг на широка површина (WAMS) претставува напредна технологија дизајнирана за надградба на постоечките електроенергетски мрежи кон концептот на паметна мрежа (smart grid). Неговата основна улога е да модернизира начинот на пренос и дистрибуција на електрична енергија, при што значително го намалува ризикот од испади и големи прекини. Зголемената техничка комплексност на поврзувањето на повеќе мрежи ја зголемува потребата од ваков широкоповршински мониторинг, бидејќи традиционалните технологии се базираат на локализирани и задоцнети податоци, што може да резултира со неефикасност при управувањето на современите мрежи. Основните компоненти на WAMS се фазорски мерни единици (PMU), концентратори на фазорски податоци (PDC), супер PDC единици и напредна комуникациска инфраструктура. [9]

Фазорските мерни единици (PMU), кои за првпат беа воведени во почетокот на 1980-тите, денес се сметаат за најсовремена технологија за прибирање податоци во WAMS системите. Синхронизираното мерење на фазори овозможува споредба на фазните и секвенционите вредности на различни точки од енергетскиот систем, каде сигналот може да се добие преку GPS. Овие мерења, преку хиерархиска структура со PDC уреди во подстанциите, овозможуваат реална слика за функционирањето на мрежата. За пренос се користи високобрзинска комуникациска мрежа со известување 25 до 50 пати во секунда.

Додека порано PMU уредите се користеле offline, денес нивната употреба се проширува и за контрола во реално време (RTC). PDC уредите собираат податоци од повеќе PMU, разменуваат податоци меѓусебно и работат според IEEE 1344, преку оптички влакна, микробранова комуникација, сателитска врска и др.

Податоците се испраќаат до супер PDC или софтвер за анализа. PDC уредите овозможуваат складирање, проверка на грешки, анализа и архивирање. За успешно функционирање на

WAMS, потребна е брза, доверлива и нисколатентна комуникациска инфраструктура. [8]



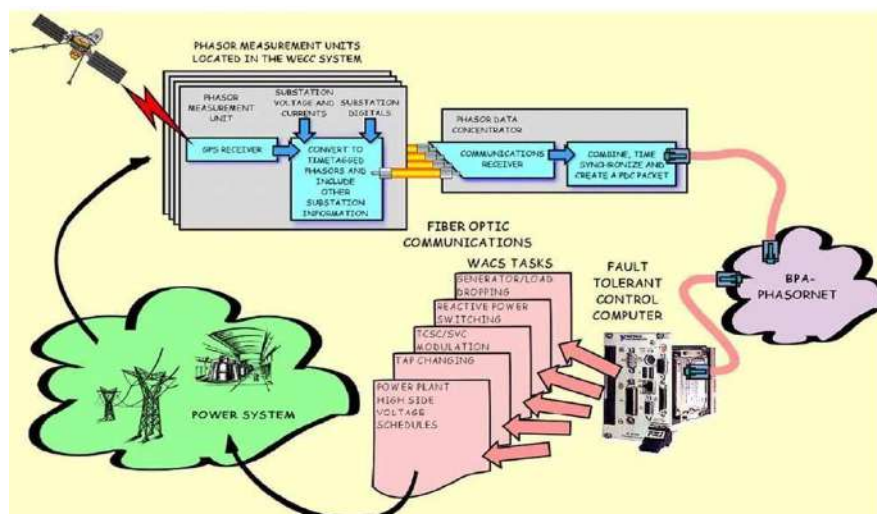
Слика 1- Основен блок дијаграм на еден WAMS систем

WACS системи

WACS (Wide-Area Control System) обезбедува флексибилна платформа за брза имплементација на исклучување на генератори и вклучување на компензатори на реактивна моќ за транзиентна стабилност и поддршка на напон во голем електроенергетски систем. Меѓу карактеристиките се излезни комуникации за исклучување на генераторот и префрлување на 500-kV кондензатор/реактор, дигитални комуникации со оптички влакна од 500-kV трафостаници, синхронизирани фазорски мерења со позитивна секвенца и контролен компјутер во реално време програмиран на јазикот G. Два алгоритми се извршуваат истовремено од програмата WACS.

Како предисторија, ги опишувале широко користените итни контроли познати како Системи за специјална заштита (Special Protection Systems - SPS). SPS се базираат на директно детектирање на однапред дефинирани дефекти, со брзи бинарни сигнали до контролни центри, а потоа до електрани и постројки за исклучување на генератори. Недостатоците на SPS вклучуваат тоа што управуваат само со однапред дефинирани настани, сложеност и релативно висока цена. [10]

WACS се користи за модулациска контрола, аларми и надзор. Системот користи фазорски отчитувања синхронизирани со GPS за процена на реактивната моќност и големината на напонот. Контролерот извршува два алгоритми: комбинирана анализа со фазна логика (magQ) и анализа базирана на напон (mag). Архитектурата е отпорна на делумно губење на податоци, со просторна филтрација и висока прецизност. [6]



Слика 2 - Основен блок дијаграм на WACS систем

Улогата на WAMS и WACS во следење и контрола на динамиката на електроенергетскиот систем

Унапредувањето на безбедноста и стабилноста на електроенергетскиот систем е директно поврзано со развојот на интегрирана онлајн платформа која ќе им овозможи на операторите постојано следење на динамичното однесување на системот во реално време. Системот треба да овозможи препознавање на закани и брза имплементација на контролни дејствија. Архитектурата вклучува прецизни мерни системи (PMU), сигурни комуникациски врски, системи за управување со актуатори и заштита, интелигентни контролни модули, систем за управување со податоци, платформа за анализа и човекмашина интерфејс. Од особена важност е симулативната обука преку OTS системи. [3]

Иако не постои целосно дефинирана архитектура, теренското искуство укажува на неколку клучни елементи. Продолженото истражување и пилот-проекти се критични за проценка на ефикасноста и интероперабилноста. Стабилноста е загрозувана поради природната комплексност и појавата на нискофреквентни меѓуобласни осцилации, особено при пренос преку слаби линии. Доколку не се идентификуваат и не се пригушат, може да предизвикаат прекини, како што беше забележано во САД.

Традиционалните PSS сè уште се релевантни, но технологии како FACTS, HVDC и ветерни фарми овозможуваат покомплексна контрола. Улогата на WAMS и WACS е суштинска – преку PMU и PDC, овозможуваат контрола на динамиката, анализа на транзиентна стабилност, проценка на состојба, DER интеграција и развој на SIPS за предиктивно делување.

Телекомуникациски технологии во поддршка на интелигентно управување со мрежата

За ефикасно функционирање на WAMS и WACS системите, неопходна е комуникациска инфраструктура која овозможува висока брзина, ниска латентност и сигурен пренос на податоци во реално време. Во продолжение се опишани некои од најкористените технологии во оваа сфера:

- Оптички влакна

Претставуваат најбрза и најсигурна технологија за пренос на големи количини на податоци на големи растојанија. Поради нивната отпорност на електромагнетни пречки и мала латентност, тие се најчесто користени во преносните делови на електроенергетската мрежа. [4]

- PLC (Power Line Communication)

Оваа технологија користи постоечките електрични водови за пренос на податоци. Иако е економична и лесна за имплементација, особено на дистрибутивно ниво, PLC е подложна на пречки и има ограничена брзина.

- WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Обезбедува широкопојасна безжична комуникација на подолги растојанија. Се користи како алтернатива во области со недостапна жична инфраструктура, овозможувајќи брз пренос на податоци меѓу подстанции и контролни центри.

- ZigBee

Нискоенергетска безжична технологија со краток домет, погодна за сензорски мрежи и мониторинг во паметни домови и нисконапонски делови на мрежата. Идеална е за апликации каде преносот на податоци не бара висока брзина. [11] LTE (Long Term Evolution)

Мобилна технологија која обезбедува брз и сигурен пренос на податоци. Често се користи како резервна или примарна комуникација за PMU уреди и други интелигентни компоненти, особено кога жичната инфраструктура не е достапна.

Интеграција на вештачка интелигенција за зголемена ефикасност и автоматизација во WAMS архитектурата

Современите предизвици во управувањето со електроенергетски системи бараат зголемена ситуациона свесност и реагирање во реално време. Традиционалната SCADA инфраструктура покажува ограничувања, особено во интерконектирани мрежи со голем географски опфат. WAMS архитектурата обезбедува интелигентно следење и контрола без целосна реконструкција на мрежата. Сепак, имплементацијата се соочува со предизвици – оптимално поставување на PMU, избор на комуникациска инфраструктура и минимизирање на трошоци.

Вештачката интелигенција (AI) се користи за решавање на овие проблеми. Алгоритми како Dijkstra, PSO (Particle Swarm Optimization) и генетски алгоритми овозможуваат оптимално позиционирање на PMU со минимален број уреди и максимална системска видливост – особено важно за земји со ограничени ресурси.

AI исто така придонесува за подобро откривање на дефекти, стабилност на напон и фреквенција, и адаптивна заштита. Алгоритми базирани на роеви, симулирано ладење, невронски мрежи и фази логика овозможуваат динамично управување. Особено ефективен е PSO, кој ја зголемува прецизноста на одлуки. Комбинацијата PSO со Њутнов метод се користи за брза локација на дефекти, додека ACO и BCO се применуваат за адаптивна заштита при промени.

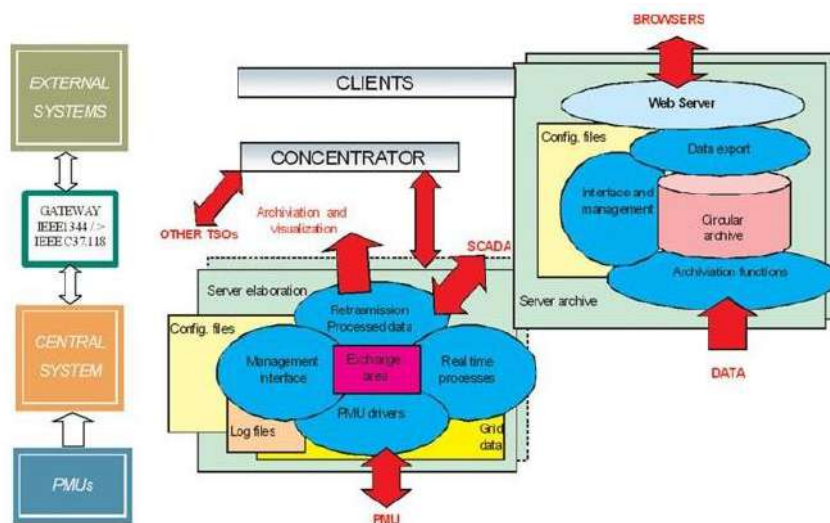
Интеграцијата на AI во WAMS овозможува поотпорни, поефикасни и адаптивни мрежи, подготвени за динамиката на обновливи извори и флукуации на оптоварување. [7]

Пример анализа: Употреба на WAMS/WACS во Италија

Италијанскиот оператор на преносниот систем, Terna, има воспоставено напреден Wide Area Measurement System (WAMS) за следење на електроенергетскиот систем во реално време. Системот се базира на phasor measurement units (PMUs) поставени на стратешки 400kV и 220kV трафостаници, преку кои се врши прецизно и синхронизирано мерење на напон, фреквенција, агол и струја со фреквенција од 50 фрејма¹ во секунда. Податоците се пренесуваат до националниот контролен центар во Рим преку комуникациски систем со брзина од 64 kbps, кој користи посветени точка-до-точка врски преку бројници (numeric circuits). Интерфејсот со другите оператори на преносни системи (TSOs) е реализиран преку gateway/concentrator кој комуницира според IEEE 1344 или IEEE C37.118 протоколите, а целиот систем е заштитен со firewall за безбедност. Архитектурата на системот е прикажана на Слика1, каде лево е прикажана

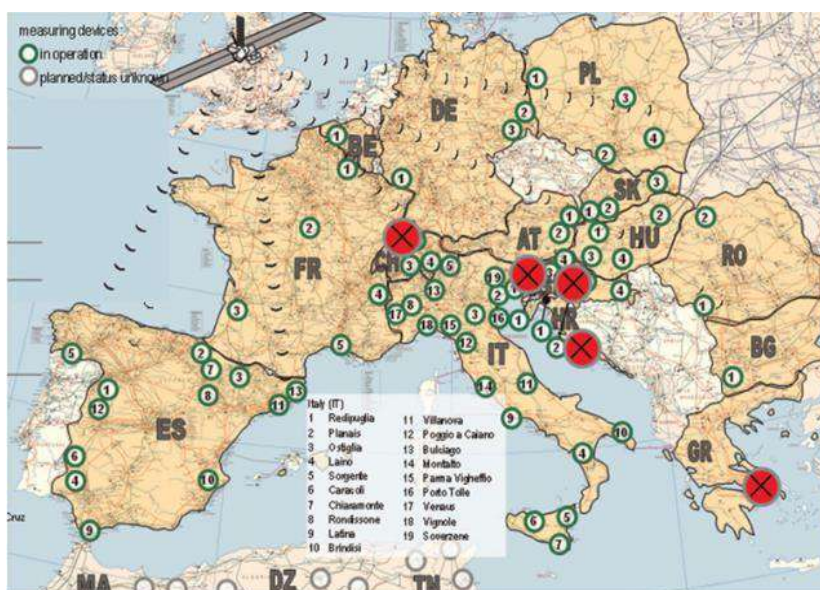
¹ Фрејм (од англискиот *frame*) е единица на мерење или пакет податоци што се пренесува или обработува во системи за мерење и комуникација.

структурата на комуникацијата, а десно целокупната архитектура на WAMS платформата.



Слика 3 - Шематски опис на интерфејсот помеѓу италијанскиот WAMS и другите системи за мерење со широка површина; Десно: целокупната архитектура на WAMS

Визуелните интерфејси во контролниот центар прикажуваат информации за стабилност, осцилации, пренапони, и можни услови за автоматски интервенции. Овој систем значително ги подобрува реакциите на операторите, особено во нестабилни или критични услови, каде традиционалните SCADA алатки се недоволни. Дополнително, преку посебни комуникациски порти, италијанскиот WAMS е поврзан со PMU уреди од Словенија (ELES), Швајцарија (Swissgrid), Хрватска (HEP), Франција – Корзика (EDF) и Грција (HTSO), овозможувајќи поширока регионална координација и оперативна свесност за состојбите во континенталниот европски енергетски систем (стр. 1543). Оваа интернационална соработка е визуелно прикажана на Слика 4, каде се прикажани прекугранично поврзаните локации, со што се зајакнува сигурноста и стабилноста на целата преносна мрежа. [2]

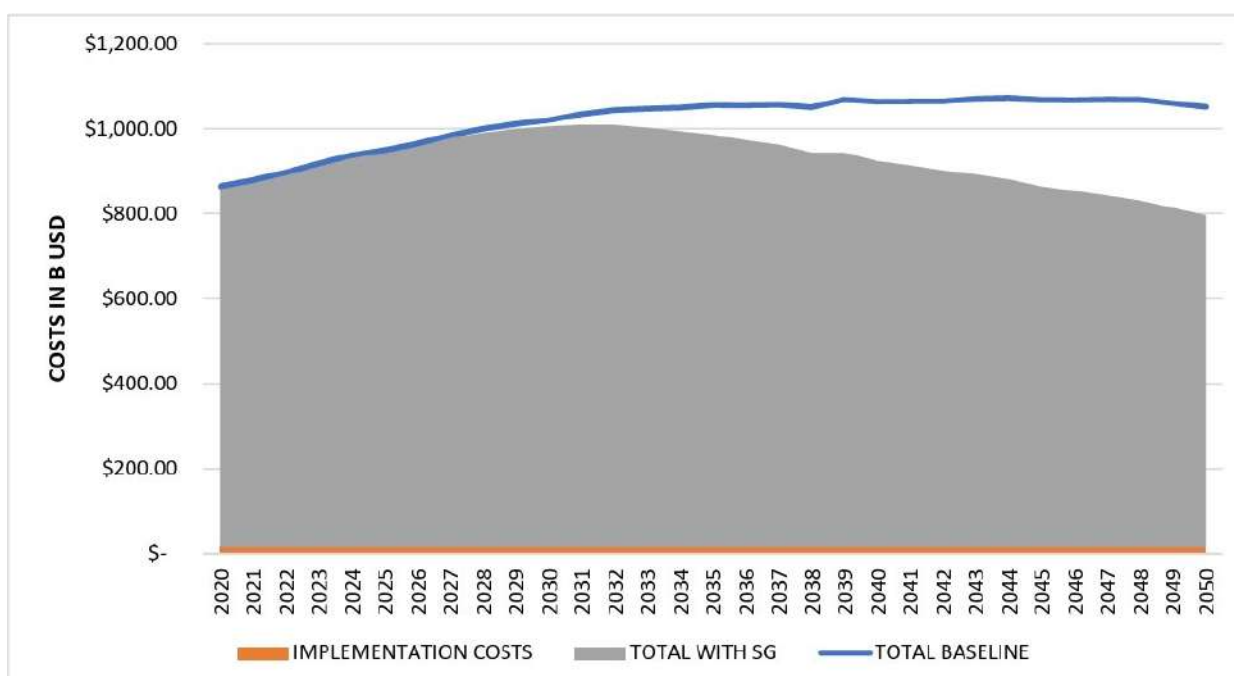


Слика 4 - Распореѓување на PMU во континентална Европа. Локациите поврзани со италијанскиот WAMS се прикажани во црвени кругови означени со „x“

Во ова истражување беше извршена споредбена анализа на примената на WAMS (Wide Area Measurement Systems) и WACS (Wide Area Control Systems) технологии во Кина и Италија, врз основа на релевантна литература и документи од двете земји.

Во Кина, WAMS и WACS се интегрирани како дел од националната стратегија за модернизација на електроенергетскиот систем. Овие технологии имаат посебен фокус на интеграција на обновливи извори на енергија и намалување на зависноста од јагленот. WAMS ја подобрува ситуационата свесност на операторите, овозможувајќи рано откривање и анализа на проблеми, додека WACS овозможува брза и координирана интервенција при нестабилности, што резултира со значително зголемена стабилност на мрежата.

Од финансиски аспект, кинеските податоци покажуваат однос на бенефит-кост (B/C) од 6.1:1, што јасно укажува на долгорочна исплатливост и економска оправданост на вложувањата во овие технологии. Придобивките вклучуваат намалување на оперативни трошоци, намалени загуби и намалување на прекини во снабдувањето. [5]



Слика 5 - Прогноза за трошоци за имплементација на SG (портакалова) без SG (BL - сина) и со SG (BLSG - сива). Постигнат е сооднос B/C од 6,1:1, што го истакнува потенцијалот на SG да испорача значителни придобивки и покрај поврзаните трошоци за имплементација

Споредбена анализа на примената на WAMS и WACS технологии во Кина и Италија

Во споредба, Италија користи WAMS систем кој се базира на прецизни мерења преку PMU уреди со висока фреквенција на мерење и е поврзан со преносни системи во соседните земји. Ова овозможува регионална координација и подобрена стабилност и безбедност на континенталната електроенергетска мрежа. Италијанскиот систем има силен акцент на напредна комуникациска инфраструктура и сајбер-безбедност.

Сепак, финансиските аспекти на италијанската примена не се доволно истражени во достапните извори, што укажува на потреба од подлабоки економски анализи за оптимизација на инвестициите.

Иако Кина се соочува со предизвици како високи почетни трошоци и долг рок на дигитализација, досегашните резултати ја оправдуваат имплементацијата. Италија, од своја страна, би имала корист од поголем фокус на интеграција на обновливи извори и финансиско оценување.

На крај, двете земји треба да продолжат да вложуваат во обука на кадри и подигање на јавната свест за значењето на WAMS и WACS технологии.

Вкупно, анализата покажува дека Кина и Италија применуваат овие технологии со различни приоритети — Кина се насочува кон економска исплатливост и национална модернизација, додека Италија се фокусира на техничка прецизност и регионална координација. Комбинација на овие пристапи би можела да го зголеми нивото на стабилност, ефикасност и одржливост на паметните електромрежи.

Заклучок

Интеграцијата на WAMS и WACS системите е клучна за трансформацијата на традиционалните електроенергетски мрежи во напредни Smart Grid решенија. Овие технологии овозможуваат реално-временско следење, предиктивна анализа и координирана контрола на преносните и дистрибутивните системи, што води до значајно зголемување на стабилноста, сигурноста и флексибилноста на мрежата. Основен предуслов за нивно ефикасно функционирање е развојот на соодветна комуникациска инфраструктура, каде што изборот на технологии – како оптички влакна, PLC, WiMAX, ZigBee или LTE – зависи од специфичните барања на апликацијата во однос на латенција, сигурност, опсег и трошоци. Дополнително, бројни студии, покажуваат дека имплементацијата на Smart Grid технологии, вклучувајќи WAMS и WACS, не само што носи технички и еколошки придобивки, туку и значајни економски заштеди. Преку зголемена ефикасност на производството и дистрибуцијата, намалување на AT&C загубите, избегнување на непотребни инфраструктурни инвестиции и намалување на трошоците за испади, се постигнува висока повратна вредност на инвестицијата (B/C ratio до 6:1 според некои анализи). Ваквите резултати ја потврдуваат исплатливоста на овие системи, особено во држави со високи цели за декарбонизација и интеграција на обновливи извори на енергија. Со вакви системи, Smart Grid не претставува само технолошки напредок, туку и стратешка економска инвестиција кон одржлива енергетска иднина.

Користена литература

- [1] C. E. Ogbogu, J. Thornburg, and S. O. Okozi, “Smart Grid Fault Mitigation and Cybersecurity with Wide-Area Measurement Systems: A Review,” College of Engineering, Carnegie Mellon University Africa, Grid Fruit, LLC., and Federal University of Technology Owerri, 2025.
- [2] Cirio, D., et al., “Wide Area Measurement System for the Italian Power Grid: Architecture, Monitoring Functions and Operational Experience,” *Electric Power Systems Research*, vol. 80, no. 9, pp. 1542–1553, 2010, doi:10.1016/j.epsr.2010.04.007.
- [3] M. La Scala, M. De Benedictis, S. Bruno, A. Grobovoy, N. Bondareva, N. Borodina, D. Denisova, A. J. Germond, and R. Cherkaoui, “Development of Applications in WAMS and WACS: An International Cooperation Experience,” presented at the IEEE PES General Meeting, July 16, 2016.
- [4] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN,” *Computer Networks*, vol. 67, pp. 74–88, Jul. 2014.

- [5]N. S. Boateng, M. C. Liscio, P. Sospiro, and G. Talluri, “Economic Cost–Benefit Analysis on Smart Grid Implementation in China,” *Sustainability*, vol. 17, no. 7, p. 2946, 2025.
- [6]Opal-RT Technologies, *L00161_0702: Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Testing for Power Systems*, [Online]. Available: https://blob.opal-rt.com/medias/L00161_0702.pdf.
- [7]D. Shi, R. Pedersen, A. Bose, D. Bakken, and A. Srivastava, “Real-Time and Distributed WideArea Monitoring and Control: A Smart Grid Application,” in *Proc. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, Washington, DC, USA, Feb. 2013, pp. 1–6.
- [8]ScienceDirect, “Wide-Area Measurement System,” *ScienceDirect Topics*. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/wide-area-measurement-system>. [Accessed: Jul. 12, 2025].
- [9]TutorialsPoint, “Wide Area Monitoring in Smart Grid,” *TutorialsPoint - Smart Grid Technology*. [Online]. Available: <https://www.tutorialspoint.com/smart-grid-technology/widearea-monitoring-in-smart-grid.htm>. [Accessed: Jul. 12, 2025].
- [10]W. Taylor, D. C. Erickson, K. E. Martin, R. E. Wilson, and V. M. Venkatasubramanian, “WACS—Wide-Area Stability and Voltage Control System: R&D and Online Demonstration,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, no. 5, pp. 892–906, Jun. 2005, doi: 10.1109/JPROC.2005.846338.
- [11]ZigBee Alliance, “ZigBee Specification,” ZigBee Document 053474r17, Jan. 2008.